

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta
Katedra fyzické geografie a geoekologie

Studijní program: Geografie
Studijní obor: Geografie a kartografie



Šimon Kolář

Silné sněžení v Česku a hodnocení jeho extremity
Heavy snowfall in Czechia and snowfall extremity evaluation

Bakalářská práce

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Miloslav Müller, Ph.D.

Praha 2020

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci („Silné sněžení v Česku a hodnocení jeho extremity“) zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze dne 20. 05. 2020

.....
Šimon Kolář

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu práce RNDr. Miloslavu Müllerovi, Ph.D. za odborné vedení, poskytnutá data, konzultace, připomínky, cenné rady, vstřícný přístup a trpělivost při dokončování práce. Poděkování patří také mým rodičům za podporu během studia.

Zadání bakalářské práce

Název práce

Silné sněžení v Česku a hodnocení jeho extremity

Cíle práce

Cílem práce je představit různé ukazatele, pomocí kterých by bylo možné hodnotit a porovnávat extremitu případů silného sněžení v Česku. Dalším cílem je tyto nástroje testovat v rámci analýzy vybraných událostí a poukázat na případné rozdíly v hodnocení extremity, dané odlišností použitých ukazatelů.

Použité pracovní metody, zájmové území, datové zdroje

Přehled ukazatelů k hodnocení extremity silného sněžení bude vytvořen převážně na základě rešerše české i zahraniční literatury, případně bude doplněn o vlastní návrhy. Na základě dostupných dat o výšce celkové sněhové pokrývky bude vytipováno několik případů silného sněžení v Česku, které se navzájem lišily z hlediska míry zasažení nižších, středních a vyšších poloh země. Tyto události budou podrobně analyzovány z hlediska prostorového rozdělení výšky nového sněhu a denních úhrnů srážek, a to s ohledem na synoptickou situaci. Při výpočtu indexů extremity budou dále využita i údaje o počtu obyvatel na úrovni správních obvodů obcí s rozšířenou působností.

Datum zadání: 10. ledna 2019

Jméno studenta: Šimon Kolář

Podpis studenta:.....

Jméno vedoucího práce: RNDr. Miloslav Müller, Ph.D.

Podpis vedoucího práce:

Abstrakt

Práce se zabývá vybranými událostmi silného sněžení a hodnocením jejich extremity na území Česka v období 2009-2013. Na základě rešerše literatury jsou popsány čtyři způsoby, jak hodnotit extremitu událostí silného sněžení. V Česku dosud jediným používaným nástrojem je nejvyšší zaznamenaná výška nového sněhu, která představuje údaj o bodové extremitě. Další možností je hodnocení velikosti území s výškou nového sněhu podle kritérií Systému integrované výstražné služby. Třetím způsobem je regionální index sněžení RSI, uvažující kromě velikosti zasažené plochy i počet v ní žijících obyvatel. Hodnotit události silného sněžení by bylo možné i pomocí indexu extremity počasí WEI, který by kvantifikoval plošné rozdělení dob opakování výšky nového sněhu na meteorologických stanicích.

V praktické části je pomocí prvních tří kritérií vyhodnocena extrimita čtyř vybraných událostí a je poukázáno na odlišnosti vyplývající z použitých nástrojů. Z výsledků hodnocení extremity jednotlivých událostí silného sněžení podle různých indexů vyplývá rozdílnost výsledků v hodnocení extremity u stejné události v závislosti na použitém hodnotícím indexu. Největší rozdílnost ve výsledcích zaznamenáváme při porovnání extremity mezi nejvyšší denní výškou nového sněhu a extremitou podle upraveného regionálního indexu sněžení. Události silného sněžení, které plošně zasáhnou nižší polohy s vyšší hustotou zalidnění, ale s nižší maximální výškou nového sněhu, se jeví jako extrémnější než události prostorově omezené na vyšší polohy, kde maximální výška nového sněhu je podstatně vyšší vlivem orografického zesílení sněhových srážek.

Klíčová slova: meteorologický extrém, silné sněžení, index extremity, Česko, výška nového sněhu, výstražný systém

Abstract

The thesis deals with selected heavy snowfall events and evaluation of their extremity in Czechia in the period 2009-2013. Based on a literature search, four methods to assess the extremity of heavy snowfall events are described. In Czechia, the only tool used so far is the highest recorded depth of fresh snow, which represents an indication of point extremities. Another option is to evaluate the size of the area with the depth of fresh snow according to the criteria of the Integrated Warning Service System. The third way is the regional snowfall index (RSI), considering not only the size of the affected area but also the number of population in it. It would also be possible to assess the heavy snowfall events with the help of the weather extremity index (WEI), which would quantify the area distribution of return periods of depth of fresh snow at meteorological stations.

In the second part of the thesis, the extremity of four selected events is evaluated using the first three criteria and the differences resulting from the tools used are pointed out. The results of the extremity assessment of individual heavy snowfall events according to different indices show a difference in the results in the extremity assessment for the same event depending on the evaluation index used. We record the maximum difference in the results when comparing the extremity between the highest daily depth of fresh snow and the extremity according to the adjusted regional snowfall index. Heavy snowfall events, which affect lower positions with higher population density but lower maximum depth of fresh snow, appear to be more extreme than events spatially limited to higher positions, where the maximum depth of fresh snow is significantly higher due to orographic intensification of snowfall.

Keywords: meteorological extreme, heavy snowfall, extremity index, Czechia, depth of fresh snow, warning service system

Obsah

Použité zkratky	7
1 Úvod	8
2 Charakteristiky a monitoring sněhových srážek a sněhové pokrývky	10
2.1 Sněhové srážky	10
2.2 Sněhová pokrývka	15
3 Klimatologické charakteristiky sněhu v Česku	19
3.1 Faktory ovlivňující sněhovou pokrývku v Česku	19
3.2 Sezónní úhrny výšky nového sněhu Česku a její změny	20
3.3 Synoptické příčiny silného sněžení v Česku	23
4 Nástroje k určení extremity silného sněžení	25
4.1 Bodová hodnota výšky nového sněhu (SNO)	25
4.2 Systém integrované výstražné služby (SIVS)	26
4.3 Index extremity počasí (WEI)	29
4.4 Regionální index sněžení (RSI)	31
5 Analýza vybraných případů silného sněžení v Česku	34
5.1 Data a metody	34
5.1.1 Staniční data výšky nového sněhu a úhrnů srážek	34
5.1.2 Prostorová interpolace výšky nového sněhu a srážek	36
5.1.3 Návrh hodnocení extremity podle kritérií SIVS	39
5.1.4 Modifikace regionálního indexu sněžení	41
5.2 Přehled vybraných případů silného sněžení v Česku	41
5.2.1 Událost silného sněžení 13. – 14. 10. 2009	42
5.2.2 Událost silného sněžení 8. – 10. 1. 2010	44
5.2.3 Událost silného sněžení 5. – 6. 1. 2012	48
5.2.4 Událost silného sněžení 22. – 24. 2. 2013	51
5.3 Extremity vybraných událostí silného sněžení	55
5.3.1 Extremity podle výšky nového sněhu SNO	55
5.3.2 Extremity podle kritérií SIVS	57
5.3.2.1 Úspěšnost výstrahy SIVS ČHMÚ při událostech silného sněžení	59
5.3.3 Extremity podle regionálního indexu sněžení RSI*	60
6 Shrnutí výsledků a jejich diskuse	62
7 Závěr	65
Použité zdroje literatury	66
Použité internetové zdroje	70
Seznam obrázků	72
Seznam tabulek	74
Seznam příloh	75
Přílohy	76

Použité zkratky

AVHRR – Pasivní zobrazovací radiometr (z angl. Advanced Very High Resolution Radiometer)

CAP – Všeobecný výstražný protokol (z angl. Common Alerting Protocol)

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální

DPZ – Dálkový průzkum Země

EOS – Systém pozorování Země (z angl. Earth Observing System)

NAO – Severoatlantická oscilace (z angl. North Atlantic Oscillation)

NASA – Národní úřad pro letectví a kosmonautiku

NESIS – Severovýchodní index sněžení (z angl. Northeast snowfall impact scale), předchůdce RSI

NOAA – Národní úřad pro oceán a atmosféru

SO ORP – Správní obvod obce s rozšířenou působností

RSI – Regionální index sněžení (z angl. Regional Snowfall index)

RSI* – Modifikovaný regionální index sněžení

SCE – Výška celkové sněhové pokrývky [cm]

SEČ – Středoevropský čas (UTC +1)

SIVS – Systém integrované výstražné služby

SNO – Výška nového sněhu [cm]

SRA – Denní úhrn srážek [mm]

SVH – Vodní hodnota sněhu [mm]

SYNOP – Zpráva o přízemních meteorologických pozorováních z pozemní stanice

UTC – Světový čas

Vb – Dráha pohybu tzv. janovské cyklony pojmenovaná podle van Bebbra (1891)

VHRR – Radiometr s velmi vysokým rozlišením (Very High-Resolution Radiometer)

WEI – Index extremity počasí (z angl. Weather extremity index)

WMO – Světová meteorologická organizace (z angl. World Meteorological Organization)

1 Úvod

Silné sněžení je nebezpečný hydrometeorologický jev, který se v Česku může vyskytovat převážně v chladnější části roku od října do dubna. Jeho potenciální nebezpečí spočívá v náhlém a rychlém spádu sněhových srážek, které s sebou přinášejí nejen rychlý přírůstek výšky nového sněhu, ale i krátkodobě zhoršenou dohlednost, někdy i silný nárazovitý vítr, v případě kombinace záporných teplot, prachového sněhu a nárazovitého větru i zviřený sníh. K významným negativům silného sněžení pro lidskou společnost patří značné komplikace v energetice, zpoždění a nehody v dopravě, škody a polomy na lesních porostech a vegetaci, ale také zatížení střech budov těžkým mokrým sněhem. Zmírnit dopady silného sněžení mohou preventivní opatření v podobě vyhlášení kalamitních situací, vydání předpovědní výstražné informace Systému integrované výstražné služby (SIVS), který spravuje Český hydrometeorologický ústav (ČHMÚ). Včasné vydání předpovědní výstražné informace může vést ke snížení množství škod a dopadů způsobených intenzitou silného sněžení, a to zejména v dopravě a energetice. Klimatologie silného sněžení je velmi důležitá a užitečná pro různé dotčené instituce či subjekty mající rozhodovací pravomoci (např. pojišťovny, technické správy komunikací zajišťující zimní údržbu silnic a dálnic, správy železnic, řízení letového provozu, energetické společnosti, lesnické správy, hydrology, správy povodí apod).

Příčiny epizod silného sněžení je důležité analyzovat na základě vazby s danou synoptickou situací. Podle zkušeností povětrnostních prognostiků je velké množství těchto epizod způsobeno tlakovými nížemi, jejichž dráha začíná nebo vede přes oblast Středozemního moře. Silné sněžení může být vázáno na přechody atmosférických front a tlakových níží v chladném oceánském proudění od severozápadu až severu. Oproti středomořským tlakovým nížím jsou za těchto situací častěji zasažené vyšší polohy severních pohraničních hor, v nížinách dochází střídavě k vypadávání dešťových a sněhových srážek v závislosti na teplotě vzduchu a poloze nulové izotermy.

Otázka hodnocení prostorové extremity silného sněžení se nejvíce uplatňuje ve Spojených státech amerických, kde extremita silného sněžení je navíc hodnocena ve vztahu k zasaženému obyvatelstvu. V současnosti kromě výšky nového sněhu není v Česku žádný jiný používaný nástroj k hodnocení extremity sněhových událostí.

Motivací k sepsání práce o silném sněžení v Česku je řada faktorů. Především skutečnost poměrně opomíjeného tématu, které by si zasloužilo v Česku vyšší

pozornost. Vzpomeňme na rok 2010, kdy silné sněžení významně zasáhlo Prahu z kraje roku v lednu a prosinci, což způsobilo sněhovou kalamitu trvající měsíc a kolaps povrchové dopravy. Určitý vliv má také osobní zájem o extrémní meteorologické události, fotografování zimní přírody a krajiny. V neposlední řadě záliba v zimních sportech, zejména v chůzi na sněžnicích zasněženou zimní krajinou.

Cíle práce:

Bakalářská práce si stanovuje následující dva hlavní cíle:

- 1) Rešerše metod použitelných pro hodnocení extremity silného sněžení na území Česka.
- 2) Analýza rozdílné extremity silného sněžení v závislosti na použitém indexu, provedená na vybraných událostech na území Česka.





















Struktura práce:

V první části se práce zaměřuje formou kritické rešerše na charakteristiky sněhové pokrývky, její určování a měření, klimatologické charakteristiky sněhové pokrývky v Česku, příčiny silného sněžení v Česku, dále se věnuje metodice použitelné pro hodnocení extremity silného sněžení (např. RSI, SIVS). Druhá část práce se věnuje analýze naměřených staničních dat výšky celkové sněhové pokrývky a výšky nového sněhu ze staniční sítě ČHMÚ (období 2009-2013). Na základě výrazných interdiurních změn u výšky celkové sněhové pokrývky, dále rešerše odborné literatury bude sestaven seznam epizod silného sněžení na území Česka, u něhož čtyři vybrané události budou dále podrobněji analyzovány a hodnoceny z hlediska dosažené míry extremity. Třetí část bakalářské práce se bude zabývat analýzou rozdílné extremity epizod silného sněžení v závislosti na použitém indexu hodnotícím dosaženou extremitu událostí silného sněžení.

2 Charakteristiky a monitoring sněhových srážek a sněhové pokrývky

2.1 Sněhové srážky

Při záporných teplotách pod bodem mrazu ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a nižších) a optimálně prochlazeném zemském povrchu dochází k tvorbě a přírůstku sněhové pokrývky. Samotné tvorbě sněhové pokrývky předchází proces vypadávání vertikálních atmosférických srážek v různých formách (např. sněhu, sněhových zrn, sněhových krupek, ledových jehliček, krup, zmrzlého deště nebo ledových krupek). Sněžení (sníh) je srážka ve formě jednotlivých ledových krystalů nebo jejich shluků (Řezáčová et al., 2007). Tvary a velikosti různých forem ledových krystalů (obr. 1) jsou vázané na teplotu a míru nasycení vzduchu vodní párou v místech jejich vzniku a vývoje. Sněhová zrna představují malé, bílé až skoro neprůhledné ledové částice podobné téměř sněhu. Padají jen v malém množství ze stratiformní oblačnosti druhu stratus nebo z mlhy (Řezáčová et al., 2007). Sněhové krupky jsou bílé neprůhledné ledové částice kuželovitého tvaru, jejichž průměr může být až 5 mm. Při dopadu na zemský povrch mohou odskakovat nebo se tříštit. Jejich výskyt bývá vázán často na konvektivní přehánky sněhové či smíšené. Ledové jehličky jsou velmi malými ledovými krystaly vypadávajícími za jasné oblohy. Kroupy patří mezi ledové částice, jejichž průměr přesahuje 5 mm. Mohou být průhledné nebo částečně i neprůhledné. Výskyt krup je spojen s konvektivní oblačností druhu cumulonimbus. Zmrzlý déšť označuje srážky, které mají kulovitý nebo nepravidelný tvar. Vzniká mrznutím dešťových kapek při svém pádu nad zemským povrchem v případě inverzního zvrstvení teploty vzduchu ve spodní troposféře a na teplé frontě. Při dopadu na zemský povrch může od něho i odskakovat, nebo se spojovat v souvislejší potenciálně nebezpečnou ledovou vrstvu. Ledové krupky představují průsvitné ledové částice, jejichž průměr může být 5 mm nebo i větší. Podobně jako kroupy jsou i ledové krupky vázány na konvektivní oblačnosti druhu cumulonimbus nebo vertikálně méně vyvinutou oblačnost cumulus congestus, která může přinést v zimním a jarním období i zimní bouřky se slabší bleskovou aktivitou, velmi rychlým poklesem teploty vzduchu k bodu mrazu ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$), a navíc náhle sníženou dohlednost vlivem padajících srážek.

	kód	grafický symbol	typická forma	název
typ krystalu	1			destičky
	2			hvězdičky
	3			sloupce
	4			jehlice
	5			dendrity
	6			uzavřené sloupce
	7			nepravidelné krystaly
	8			krupky
	9			ledové kuličky
	0			kroupy

Obr. 1: Typy ledových krystalů stanovené mezinárodní klasifikací tuhých srážek (Mason, 1971, upraveno)

Množství sněhových srážek dopadajících na zemský povrch je více tvořeno sněhovými vločkami než ledovými krystalky. Sněhové vločky se vyznačují charakteristickými rozměry velikosti 2 až 5 mm, někdy mohou dosahovat až 15 mm (Řezáčová et al., 2007). Velikost sněhových vloček bývá velmi často závislá na teplotě a vlhkosti okolního vzduchu, ale i na rychlosti větru. Při vyšších rychlostech větru dochází ke štěpení a separaci jednotlivých sněhových vloček na menší fragmenty. Větší sněhové vločky (o velikosti přes 15 mm), vypadávají nejčastěji při teplotách vzduchu okolo bodu mrazu či vyšších, relativní vlhkosti vzduchu blízké stavu nasycení, bezvětří, ale zejména při přechodu velmi vlhké vzduchové hmoty.

Koncem ledna roku 2015 zasáhlo silné sněžení s většími sněhovými vločkami slovenské hlavní město Bratislavu (obr. 2). Meteorologická stanice Bratislava-Koliba zaznamenala během této události silného sněžení ve večerním synoptickém termínu měření (30.1.2015 v 19:00 SEČ) rekordní výšku nového sněhu až 52 cm za posledních 12 hodin! (SHMÚ, 2015).



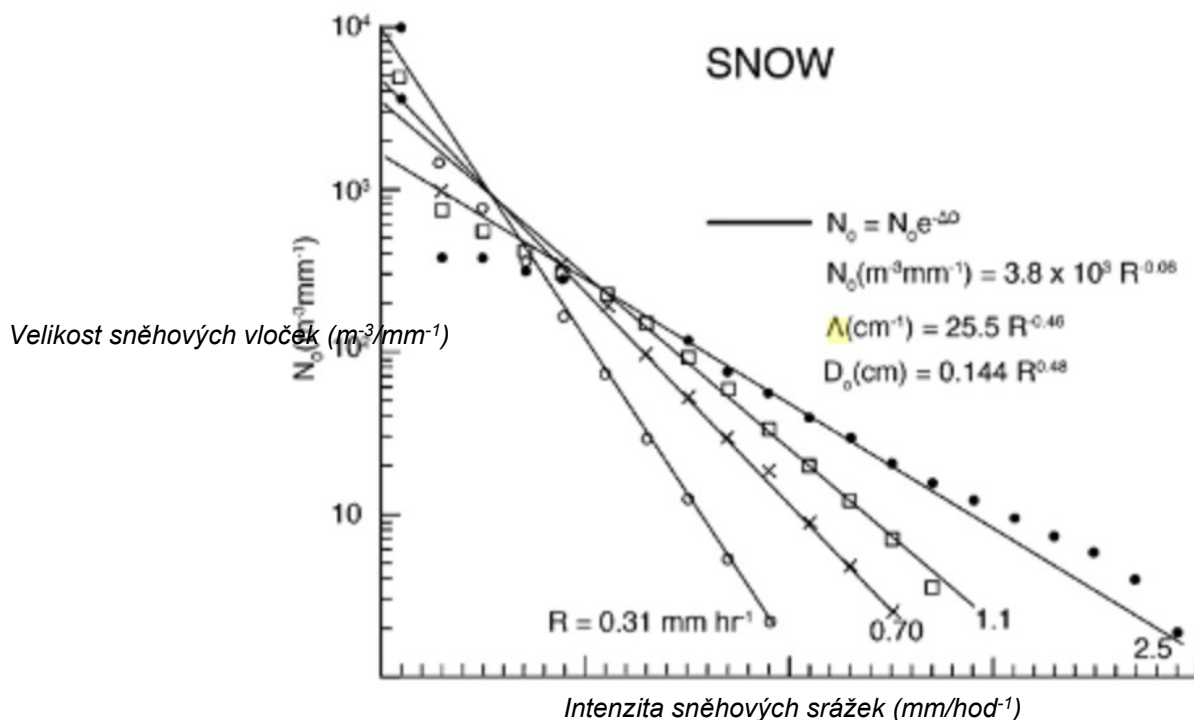
Obr. 2: Velké sněhové vločky při silném sněžení způsobují výrazně zhoršenou dohlednost, rychlý přírůstek sněhové pokrývky a značné komplikace železniční dopravy v Bratislavě dne 30.1.2015 (foto: yanco)

Rozdělením velikostí sněhových vloček ve vztahu k výšce nového sněhu a intenzitě sněhových srážek se věnovala studie autorů Gunn a Marshall (obr. 3) již v 50. letech minulého století (Gunn a Marshall, 1958). Jedná se o studii analogickou na předchozí Marshallovo-Palmerovo rozdělení vyjadřující exponenciální závislost velikosti dešťových kapek na intenzitě srážek (Marshall a Palmer, 1948). Studie obou autorů zjistila, že rozdělením velikostí sněhových vloček lze vyjádřit závislost parametrů exponenciálního rozdělení Λ (slope) [cm^{-1}] (viz vztah 1.1) a N_0 (intercept) [$\text{m}^{-3} \cdot \text{mm}^{-1}$] (viz vztah 1.2) na intenzitě srážky ve tvarech:

$$\Lambda = 25,5 \cdot R^{-0,48} \quad (1.1),$$

$$N_0 = 3,8 \cdot 10^3 R^{-0,87} \quad (1.2),$$

kde R [$\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$] představuje intenzitu sněhových srážek, která má význam vodního ekvivalentu výšky nového sněhu dosaženého za jednotku času.



Obr. 3: Gunn-Marshallovo exponenciální rozdělení velikostí sněhových vloček k intenzitě sněhových srážek (Gunn a Marshall, 1958).

Intenzitu sněhových srážek můžeme hodnotit podle výšky nového sněhu (SNO), radiolokačními měřeními kombinovanými s daty nejbližší synoptické stanice, která zasílá v hodinovém intervalu zprávy o stavu a průběhu počasí (tzv. SYNOP). V mezinárodním kódování SYNOP se podle kódové tabulky tuhé (sněhové) srážky (nikoliv v přeháňkách) rozdělují podle intenzity v termínu pozorování na 3 kategorie: slabé, mírné a silné (kódy 70-75), dále podle časových charakteristik do 2 kategorií: občasné a trvalé, samotnou kategorii pak tvoří přeháňky (Židek a Lipina, 2003). Ukázka dalšího možného dělení intenzity hodinových sněhových srážek v závislosti na dohlednosti je uvedena v tab. 1.

Tab. 1: Rozdělení intenzity hodinových sněhových srážek v závislosti na dohlednosti:

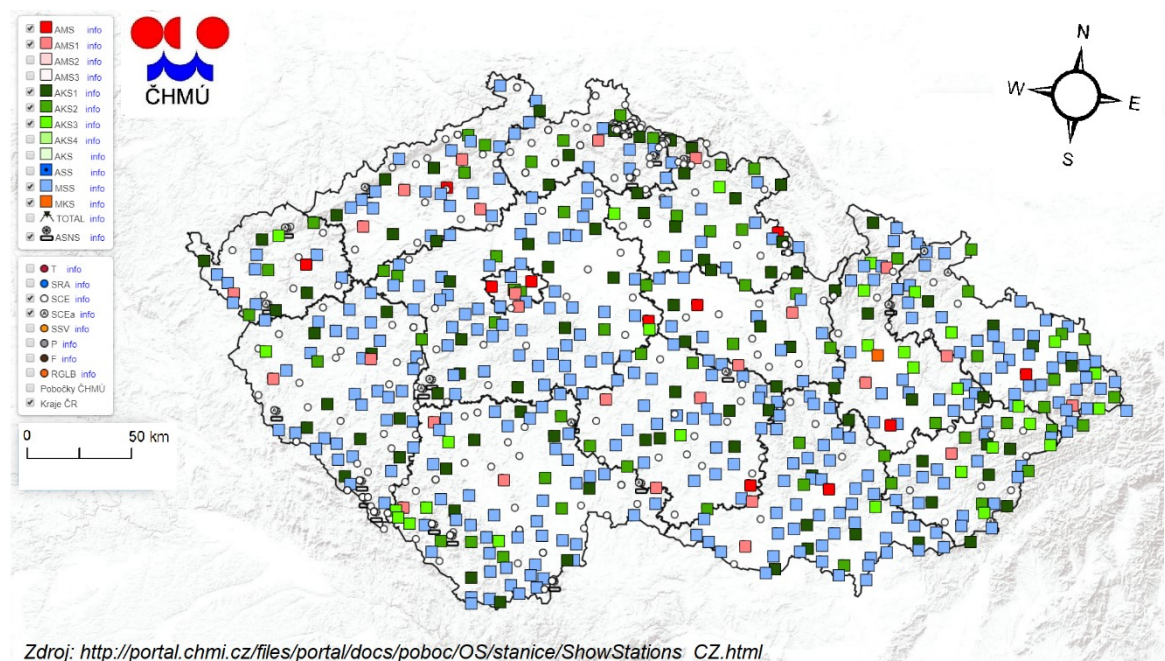
<u>Intenzita</u>	<u>Sníh [cm*hod-1]</u>
Velmi slabá	Jednotlivé vločky nepokrývající celý povrch (bez ohledu na dobu trvání)
Slabá	0 – 0,5 – neovlivňuje dohlednost
Mírná	0,6 – 4,0 – dohlednost je mírně zhoršená
Silná	> 4,0 – dohlednost zhoršená na vzdálenost 500 metrů
Velmi silná	krátkodobé intenzivní sněhové přeháňky, dohlednost zhoršená na vzdálenost pod 500 metrů

(Židek a Lipina, 2003)

2.2 Sněhová pokrývka

Měření výšky sněhové pokrývky se provádí manuálním měřením pozorovatele v celých centimetrech pomocí sněhoměrné latě nebo tyče v prostorách meteorologické zahrádky v místech, kde dochází k nejmenšímu ovlivnění větrem, vegetací, zástavbou apod. V případě značné variability těchto podmínek je nutné provádět tři různá měření na několika místech a následně získat zprůměrovanou hodnotu těchto měření. Pokud výška celkové sněhové pokrývky (dále jen SCE) přesáhne 0,5 cm a pokrývá více než polovinu plochy meteorologické zahrádky, potom hovoříme o souvislé sněhové pokrývce. Nastane-li případ souvislé sněhové pokrývky a zároveň SCE nepřesáhne 0,5 cm, jedná se o poprašek. Vyskytne-li se sněhová pokrývka na méně než poloviční ploše meteorologické zahrádky, potom hovoříme o nesouvislé sněhové pokrývce (Tolasz et al., 2007).

V síti klimatologických a synoptických stanic ČHMÚ (obr. 4) se v zimním období měří SCE a výška nového sněhu (dále jen SNO) vždy každý den v klimatologickém ranním termínu v 06 UTC (tj. v 7 hodin místního času). Na synoptických stanicích bývá doplňováno večerním měřením v termínu 18 UTC (tj. v 19 hodin místního času). SNO se podle pravidel WMO (Světové meteorologické organizace) měří každý den v čase 06 UTC (tj. v 7 hodin místního času) v centimetrech, a to nejčastěji pravítkem na sněhoměrné desce nebo prkénku, pokud docházelo před termínem měření k vypadávání sněhových srážek. Pomocí automatických vyhřívaných srážkoměrů (např. člunkový, váhový) můžeme změřit vodní ekvivalent sněhu (vodní hodnotu sněhu SVH). Vodní hodnota sněhu je velmi důležitým ukazatelem sněhové pokrývky z hydrologického hlediska, který slouží jako jeden ze vstupních parametrů do hydrologických modelů, udává se v milimetrech vodního sloupce. Jde o ukazatel, který nám určuje zásoby vody ve sněhové pokrývce, což má poměrně klíčový vliv při předpovídání povodní z tajícího sněhu, zejména v jarním období. Vodní hodnota sněhu bývá měřena na meteorologických stanicích ČHMÚ pouze 1x týdně v pondělí ráno, a to jen v případě, pokud hodnota SCE je vyšší než 4 cm sněhu a jedná se o souvislou sněhovou pokrývku.



Zdroj: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/stanice/ShowStations_CZ.html

Obr. 4: Stanice v síti ČHMÚ monitorující v zimním období SCE a SNO (upraveno, zdroj: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/stanice/ShowStations_CZ.html)

Od poloviny 60. let 20. století se od vypuštění první meteorologické družice TIROS-1 (1. generace družic NOAA) v USA začínají rozvíjet distanční měření a pozorování, která s sebou přinášejí průlom nejen v oblasti meteorologie, ale i v mapování rozsahu sněhové pokrývky (Meier, 1979). Pravidelná a systematická mapování rozsahu sněhové pokrývky a ledovců na severní polokouli započala ve druhé polovině 60. let 20. století. Zpracovaná data byla pořizována skenujícím optickým radiometrem VHRR, předchůdce dnešního AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer), jehož nosičem jsou americké družice systému NOAA, která jsou s lepším prostorovým rozlišením na denní bázi (Hall et al., 2006). V roce 2000 došlo k průlomu v rámci Systému pozorování EOS (Earth Observing System) americké NASA v používání senzoru MODIS, který je umístěn na družicích TERRA a AQUA obíhajících okolo Země na polárních drahách ve výškách okolo 705 km nad zemským povrchem. Družicová data senzoru MODIS (s lepším prostorovým rozlišením, která u aktivních senzorů dosahují až 30 metrů) dokážou v mikrovlnném frekvenčním pásmu spolehlivě zmapovat a určit nejen rozsah sněhové pokrývky, ale v dobré kvalitě i výšku celkové sněhové pokrývky a vodní hodnotu sněhové pokrývky (Rango, 1986). Výhodou je možnost využití dat v mikrovlnném frekvenčním pásmu za všech meteorologických podmínek stavu počasí (tab. 2).

Mezi nejčastější bariéry a nevýhody při mapování rozsahu sněhové pokrývky z družicových dat Dálkového průzkumu Země (DPZ) patří právě samotná oblačnost, hustá lesní vegetace nebo členitá morfologie reliéfu (zejména v horském prostředí)

(Hüsler et al., 2014). Naopak hlavní výhodou naměřených dat DPZ je spojitost měření umožňující uživateli poskytnout celkový odhad rozsahu sněhové pokrývky a komplexní měření SCE, SVH na velké ploše, kde nelze celou oblast pokrýt nespojitými bodovými měřeními v rámci meteorologických stanic. Ani aplikace interpolačních metod (např. Kriging) nám nedokáže příliš věrohodně zachytit teplotní či orografické heterogenity ovlivňující významně rozsah sněhové pokrývky či samotné parametry sněhové pokrývky (SCE a SVH) v prostoru. Velmi velkou výhodou monitoringu sněhové pokrývky pomocí družicových dat DPZ je možnost získání naměřených dat i z obtížně dostupných terénů a oblastí (např. horské ledovce s méně členitým reliéfem či polární oblasti).

Tab. 2: Porovnání používaných spektrálních pásem pro monitoring sněhové pokrývky:

<u>Charakteristika</u>	<u>Optické / Blízké infračervené</u> ($\lambda = 0,72 - 3 \mu\text{m}$)	<u>Infračervené</u> ($\lambda = 3 \mu\text{m} - 1 \text{ mm}$)	<u>Mikrovlnné</u> ($\lambda = 1 \text{ mm} - 1 \text{ m}$)
<u>Rozsah sněhové pokrývky</u>	Ano	Ano	Ano
<u>Výška sněhové pokrývky</u>	Dobře	Slabě	Dobře
<u>Obsah kapalně vody ve sněhu</u>	Dobře	Slabě	Dobře
<u>Albedo</u>	Ano	Ne	Ne
<u>Vodní hodnota sněhu</u>	Slabě	Slabě	Ano
<u>Teplota</u>	Ne	Ano	Slabě
<u>Využití za každého počasí</u>	Ne	Ne	Ano
<u>Prostorové rozlišení</u>	10 metrů	100 m	20–150 km (pasivní senzory); 30 m (aktivní senzory)

(zdroj: Rango, 1986)

Výška sněhové pokrývky je měřena na meteorologických stanicích dvěma možnými způsoby (manuálně pozorovatelem na meteorologické stanici; pomocí automatických měření – ultrazvukových čidel nebo tzv. „sněhoměrných polštářů“). Sněhoměrné polštáře představují plochá zařízení v úrovni terénu (Špulák et al.,

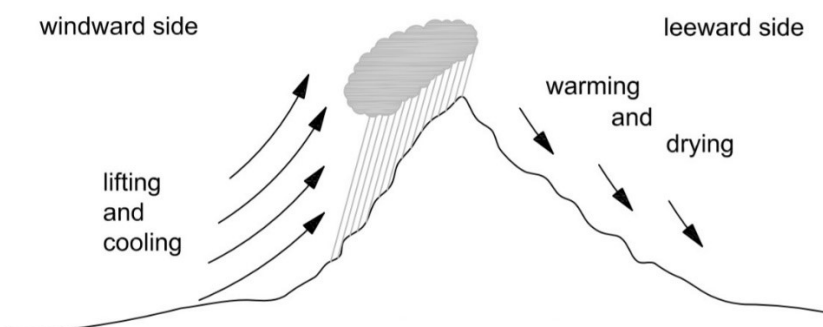
2012), která většinou bývají vybavené ultrazvukovým či laserovým snímačem. Díky nim lze získat informace o kvantitativních charakteristikách sněhové pokrývky (např. SCE) kdykoliv v čase. Nevýhodou měření sněhoměrných polštářů je riziko zavěšení sněhové vrstvy přes polštář (snow bridging), což přináší chybná měření (Sorteberg et al, 2001; Johnson, Schaefer, 2002). Výhodou je vhodné doplnění měření meteorologických stanic v oblastech, kde pokrytí klimatologickými či synoptickými stanicemi s pozorovatelem je minimální (např. Brdská vrchovina, Žďárské vrchy, Šumava, Slavkovský les, Krušné hory atd). ČHMÚ v současnosti zajišťuje měření SCE na 24 sněhoměrných polštářích.

3 Klimatologické charakteristiky sněhu v Česku

3.1 Faktory ovlivňující sněhovou pokrývku v Česku

Česko se nachází v mírném podnebném pásu přechodného typu (Vysoudil, 2004) vyznačujícím se střídáním čtyř ročních období, sušších, ale i vlhčích period (spojených nejčastěji s postupem jednotlivých frontálních systémů od Atlantiku). Díky tomu můžeme v Česku pozorovat pestrout mozaiku vegetace a nejrůznějších životních forem. Významný vliv na podnebí Česka má jeho jedinečná poloha na rozhraní oceánského až kontinentálního podnebí. Kontinentální chod srážek se vyznačuje výrazným letním maximem (vyšší podíl konvektivních srážek na úkor stratiformních srážek) a zimním minimem, s přibývajícím oceanitou narůstá množství srážek na podzim a v zimě (Brázdil, 1978). Mezi oceánické oblasti patří vyšší polohy u pohraničních pohoří Česka.

Nedílnou složkou utvářející podnebí je orografie. Orografie má zásadní vliv na zesílení srážkových úhrnů v oblasti návětrné strany horské překážky (vynucené výstupné pohyby vzduchu), naopak v oblasti závětrné strany horské překážky dochází k výraznému útlumu srážek (kompenzační sestupné pohyby vzduchu, které jsou často spojené i s protrháváním oblačnosti a větrnějším charakterem počasí) (obr. 5). Tento efekt lze pozorovat zejména v případě protáhlých zlomových struktur a hřebenů (např. sudetská pohraniční pohoří – Krušné hory, Jizerské hory či Krkonoše).



Obr. 5: Vliv orografie na formování sněhových srážek (zdroj: DeWalle a Rango, 2008)

Z celkové rozlohy Česka leží 67 % území v nadmořské výšce do 500 m n. m., 32 % území ve výšce od 500 m n. m. do 1 000 m n. m. a pouze 1 % ve výšce nad 1 000 m n. m. Střední nadmořská výška Česka činí 430 m n. m. (ČSÚ, 2005). Nejvyšším

vrcholem Česka je Sněžka (1603 m n. m.), nejnižším místem je hladina řeky Labe v Dolním Žlebu (115 m n. m.) (Bína et al., 2012).

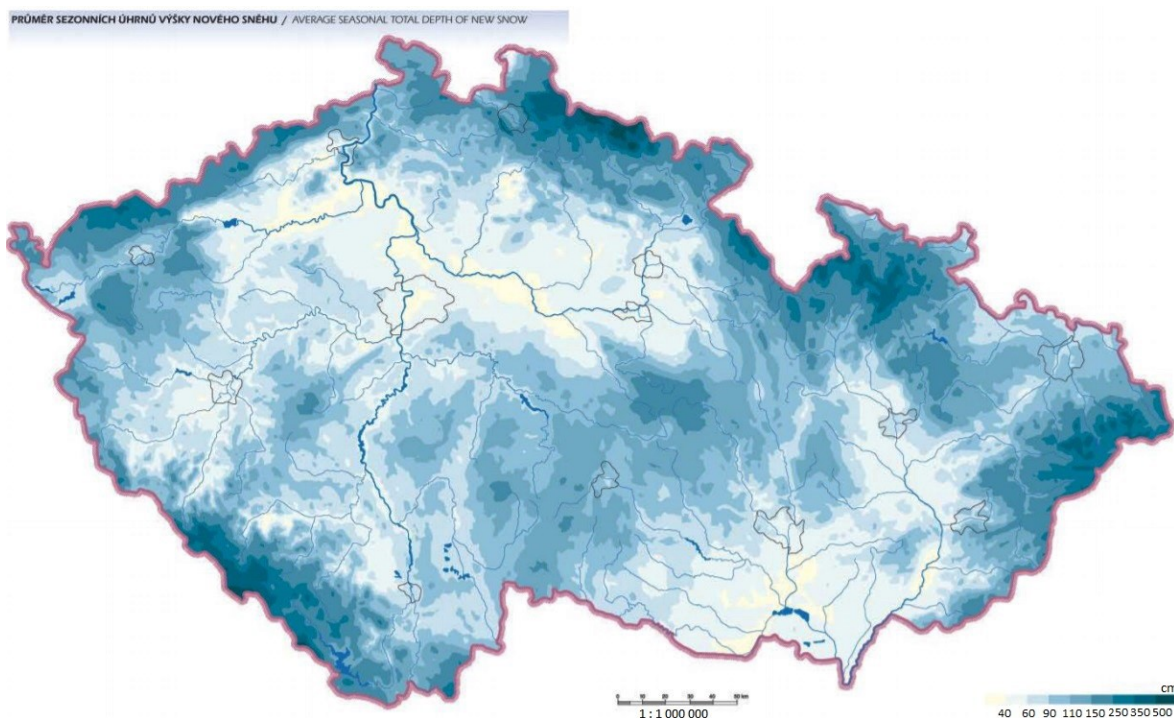
Z hlediska charakteristiky klimatu patří nižší polohy Česka (nížiny, roviny, tabule, pánve) podle Köppenovy klasifikace do kategorie vlhkého, mírně teplého podnebí (Cfb). Střední polohy (pahorkatiny, vysočiny, částečně nižší polohy vrchovin) patří do kategorie vlhkého mírně chladného podnebí s mírnou zimou (Dfb). Vyšší polohy (vrchoviny, hornatiny) pak do kategorie vlhkého mírně chladného podnebí se studenou zimou (Dfc). Pouze v hřebenových partiích Krkonoš a ve vrcholových partiích Hrubého Jeseníku se vyskytuje studené pásmo tundry (ET) (Tolasz et al., 2007).

Sněhové srážky z hlediska dlouhodobých klimatologických charakteristik jsou nejčastěji distribuovány v nižších polohách do chladnější části roku (přibližně od poloviny listopadu do poloviny března), ve středních a vyšších polohách trvá tato část roku o dva měsíce déle (přibližně od poloviny října do poloviny dubna). Ve vrcholových a hřebenových partiích Krkonoš se mohou vyskytovat sněhové srážky kdykoliv během roku.

Podíl ročních srážkových úhrnů v kapalném a pevném skupenství (tj. podíl dešťových a sněhových srážek) se na řadě míst Česka (i se stejnou nadmořskou výškou) značně odlišuje. Značný vliv na to má nejen řada klimatických činitelů (zeměpisná šířka, vliv kontinentality apod.), ale důležitý význam hraje v zimním období v mírných zeměpisných šířkách orografický efekt (vlivem vertikálně nižší troposféry cca 8-12 km) a značné heterogenity projevů srážek během jednotlivých povětrnostních situací v různých částech Česka. Především pohraniční pohoří značně ovlivňují chod a intenzitu srážek po většinu roku, a proto mají nemalý podíl na charakteru podnebí Česka.

3.2 Sezónní úhrny výšky nového sněhu Česku a její změny

Výška nového sněhu, která spadne na jednotlivých stanicích na území Česka za období meteorologické zimy (obr. 6) je závislá na nadmořské výšce, expozici terénu, výšce a poloze nulové izotermy, ale i na synoptických situacích, které ovlivňují území Česka během meteorologické zimy. Obecně platí, že nejméně nově napadlého sněhu se vyskytuje v nížinách a s rostoucí nadmořskou výškou toto množství stoupá (Rožnovský et al., 2016).



Obr. 6: Průměr sezónních úhrnů výšky nového sněhu (SNO) v Česku podle klimatického normálu 1961-2000 (zdroj: Tolasz et al., 2007)

Rožnovský et al., (2016) ukazují, že od roku 2001 do roku 2016 došlo k největšímu úbytku výšky nového sněhu oproti dlouhodobému klimatickému normálu (1961-2000) u meteorologických stanic v horských oblastech (nad 1200 m n. m.) až o 11 % sněhových srážek méně. Menší úbytek oproti dlouhodobému klimatickému normálu 1961-2000 je zaznamenán i u stanic v nižších polohách (do 300 m n. m.) o 4 % sněhových srážek méně. Naopak u stanic ve středních polohách výška nového sněhu přibližně stagnuje a ve vyšších polohách (od 600 m n. m. do 1200 m n. m.) i narůstá (viz tab. 3).

Tab. 3: Sezónní úhrn výšky nového sněhu (SNO) na stanicích podle nadmořské výšky v letech 1961-2000 a 2001-2016 na území Česka, poslední sloupec SNO DIF udává podíl obou hodnot (období 2001-2016 ku období 1961-2000):

Nadmořská výška (m n. m.)	Plocha (%)	SNO (cm) (1961-2000)	SNO (cm) (2001-2016)	SNO DIF (%)
<300	24,2	41,8	40,2	96,1
301-600	59,2	67,1	65,1	96,9
601-900	14,5	115,9	118,0	101,8
901-1200	1,9	198,5	200,8	101,2
>1200	0,2	276,8	247,0	89,2

(zdroj: Rožnovský et al., 2016, vlastní zpracování)

Výrazný úbytek sezónních úhrnů výšky nového sněhu (SNO) u meteorologických stanic v horských polohách nad 1200 m n. m. je dán klesajícím podílem padajících tuhých srážek ve formě sněžení. Dochází k postupnému nárůstu padajících srážek v kapalném skupenství (ve formě deště či deště se sněhem) (Hynčica a Huth, 2019). Vysvětlením podle mého názoru může být vyšší výška hladiny nulové izotermy, časté zonální proudění od Atlantiku vázané na kladnou fázi Severoatlantické oscilace (NAO+), které bývá nečíska doprovázené vichřicemi, prudkým krátkodobým oteplením i na horách s vydatnými dešťovými srážkami, a následně i menšími vzestupy hladin vodních toků s dosažením nižších stupňů povodňové aktivity.

Menší nárůst sezónních úhrnů výšky nového sněhu (SNO) v období 2001-2016 zaznamenán u meteorologických stanic ve vyšších polohách (600-1200 m n. m.). Nárůst lze vysvětlit vyšší četností středomořských tlakových níží během záporné fáze Severoatlantické oscilace (NAO-) (Hofstätter a Blöschl, 2019).

Studie autorů Hynčica a Huth (2019) popisuje vztah mezi změnou klimatu a zvyšováním průměrné roční teploty, což vede ke změně prostorového rozložení a množství srážek, ale i k měnícímu se skupenství srážek. Zároveň podotýká problematiku dřívějšího a rychlejšího tání sněhové pokrývky v oblastech s niválním, případně niválně-pluviálním odtokovým režimem, což zvyšuje riziko jarních povodní a nedostatku vody v letním období s vyšším rizikem sucha. Výsledky poukázaly na dlouhodobý trend poměru pevných srážek ku celkovým, který se projevil jako klesající

na všech klimatických stanicích s průměrným poklesem o 0,6 % za rok, přičemž nejvýrazněji po roce 2007. Výraznější pokles pevných srážek po roce 2007 byl zaznamenán na stanicích ve vyšších nadmořských výškách (např. Churáňov, Lysá hora) (Hynčica a Huth, 2019).

3.3 Synoptické příčiny silného sněžení v Česku

Příčiny epizod silného sněžení je důležité analyzovat na základě vazby s danou synoptickou situací. Podle zkušeností povětrnostních prognostiků je velké množství těchto epizod způsobeno tlakovými nížemi, jejichž dráha začíná nebo vede přes oblast Středozemního moře. Silné sněžení může být vázáno na přechody atmosférických front a tlakových níží v chladném oceánském proudění od severozápadu až severu. Oproti středomořským tlakovým nížím za těchto situací častěji zasažené vyšší polohy severních pohraničních hor, v nížinách dochází střídavě k vypadávání dešťových a sněhových srážek v závislosti na teplotě vzduchu a poloze nulové izotermy (Květoň a Žák, 2011).

Vliv středomořských tlakových níží s retrogradní drahou nad Polskem a se studeným prouděním od severovýchodu kolem tlakové níže (tzv. synoptický typ severovýchodní cyklonální situace NEc) představuje v oblasti Ostravska naprosto dominantní synoptickou příčinu vedoucí ke kalamitním sněhovým situacím (např. konec prosince roku 2005 s oblastním průměrem SNO až 31 cm). Z tabulky 4a vyplývá, že do oblasti Krkonoš přináší nejvíce nového sněhu synoptický typ C (cyklóna nad střední Evropou) a NWC (severozápadní cyklonální situace) až přes 65 cm nového sněhu. V oblasti Ostravska je sice synoptický typ NEc naprosto dominantní synoptickou příčinou vedoucí ke kalamitním sněhovým situacím, ale v absolutních číslech přináší nejvíce nového sněhu brázda nízkého tlaku vzduchu nad střední Evropou (B) až 81 cm nového sněhu ve Velkých Karlovicích 11. dubna 1964 (tab. 4b). V oblasti Šumavy přináší nejvíce nového sněhu synoptický typ západní cyklonální situace (Wc), během kterého napadlo dne 26. února 2002 na stanici Železná Ruda až 75 cm nového sněhu (tab. 4c). Důležitý je také synoptický typ C (cyklóna nad střední Evropou), který přináší vysoké výšky nového sněhu i do Krkonoš. Zajímavostí u Šumavy je fakt, že maximální výšky nového sněhu se vyskytují převážně v oblasti západní části Šumavy (Železnorudsko) a postupně k východu klesají, což je ovlivněno návětrným efektem západních partií Šumavy vlivem západního oceánského proudění (Květoň a Žák, 2011).

Tab. 4: Nejvyšší staniční výšky nového sněhu (SNO) zaznamenané při jednotlivých povětrnostních situacích (synoptických typech) za období 1961 až 2010 v oblastech Krkonoš (tab. 4a), Ostravska (tab. 4b) a Šumavy (tab. 4c) (zdroj: Květoň a Žák, 2011):

Situace	Stanice	Nadm. výška [m]	Datum	Nový snh [cm]
A	Josefův Důl	600	14. 12. 2004	13
Ap1	Harrachov	670	4. 12. 2010	5
Ap2	Vrbatová bouda	1 410	17. 11. 1973	20
Ap3	Horní Maršov	565	1. 1. 2003	23
Ap4	Svatý Petr	870	4. 1. 1990	13
B	Labská bouda	1 315	21. 2. 1993	50
Bp	Dolní Dvůr	610	30. 12. 1977	62
C	Harrachov	670	6. 12. 1998	66
Cv	Luční bouda	1 413	31. 1. 2009	35
Ea	Svatý Petr	870	27. 2. 1980	15
Ec	Dolní Dvůr	610	8. 3. 1988	52
Nc	Harrachov	670	18. 12. 1967	53
NEa	Luční bouda	1 413	15. 12. 2009	10
NEc	Harrachov	670	14. 12. 2010	65
NWa	Rokytnice nad Jizerou	525	26. 1. 1964	18
NWc	Labská bouda	1 315	26. 1. 1993	65
Sa	Teplíce nad Metují	445	21. 11. 2007	3
SEa	Náchod	336	15. 1. 1971	10
SEc	Josefův Důl	600	22. 11. 1993	35
SWa	Svatý Petr	870	21. 12. 1985	16
SWc1	Dolní Dvůr	610	15. 1. 1969	13
SWc2	Labská bouda	1 315	22. 1. 1995	22
SWc3	Bedřichov	777	10. 2. 1968	23
Vfz	Labská bouda	1 315	20. 2. 1970	32
Wa	Svatý Petr	870	27. 12. 1982	32
Wal	–	–	–	–
Wc	Harrachov	670	19. 12. 1988	55
Wcs	Labská bouda	1 315	13. 3. 1992	50

Tab. 4a: Oblast Krkonoš

Situace	Stanice	Nadm. výška [m]	Datum	Nový snh [cm]
A	Bohdanovice	463	4. 3. 1963	18
Ap1	Mosty u Jablunkova	548	14. 2. 2006	10
Ap2	Lysá hora	1 322	21. 3. 1987	20
Ap3	Budišov nad Budišovkou	530	19. 3. 1988	12
Ap4	Francova Lhota	480	4. 3. 1987	10
B	Velké Karlovice	980	11. 4. 1964	81
Bp	Horní Bečva	565	7. 12. 1983	69
C	Spálov	576	19. 2. 1996	52
Cv	Lysá hora	1 322	12. 12. 1986	26
Ea	Trojanovice	540	16. 12. 1961	20
Ec	Lysá hora	1322	15. 1. 1979	53
Nc	Velké Karlovice	980	11. 3. 1968	55
NEa	Horní Bečva	565	15. 1. 1964	24
NEc	Lysá hora	1 322	14. 10. 2009	65
NWa	Bystřička	388	7. 12. 1971	60
NWc	Staré Hamry	527	27. 12. 1991	48
Sa	Skřipov	485	5. 11. 1966	16
SEa	Velké Karlovice	980	24. 12. 1976	10
SEc	Bílá	720	2. 4. 1996	47
SWa	Huslenky	560	14. 1. 1974	15
SWc1	Velké Karlovice	980	19. 1. 1969	16
SWc2	Melč	470	6. 12. 1961	42
SWc3	Frenštát pod Radhoštěm	436	5. 12. 1992	35
Vfz	Velké Karlovice	980	13. 12. 1965	30
Wa	Bystřička	388	6. 1. 1962	30
Wal	–	–	–	–
Wc	Lysá hora	1 322	1. 1. 1975	44
Wcs	Lysá hora	1 322	16. 3. 1992	34

Tab. 4b: Oblast Ostravska

Situace	Stanice	Nadm. výška [m]	Datum	Nový snh [cm]
A	Borová Lada	898	19. 1. 1968	40
Ap1	Prácheň	880	27. 11. 1964	6
Ap2	Železná Ruda	947	28. 2. 2006	16
Ap3	Železná Ruda	947	8. 3. 2006	14
Ap4	Horní Vltavice	830	19. 3. 1966	8
B	Stoltec	826	14. 1. 1961	45
Bp	Železná Ruda	763	30. 11. 1981	45
C	Železná Ruda	947	29. 3. 1979	65
Cv	Prácheň	880	4. 11. 1974	30
Ea	Prácheň	880	15. 3. 1987	17
Ec	Filipova Huť	1 102	12. 2. 1999	47
Nc	Prácheň	880	22. 12. 1986	64
NEa	Frymburk	985	1. 1. 1963	50
NEc	Železná Ruda	867	11. 2. 1983	35
NWa	Frymburk	985	7. 4. 1964	12
NWc	Filipova Huť	1 102	8. 4. 1980	61
Sa	Železná Ruda	763	13. 2. 1987	3
SEa	Mlýnské Lázně	743	22. 2. 1982	8
SEc	Český Krumlov	554	24. 1. 1996	32
SWa	Chrást	1 118	10. 1. 1962	6
SWc1	Chrást	1 118	21. 11. 1970	20
SWc2	Brloh	582	1. 1. 1962	30
SWc3	Květušín	810	1. 3. 1981	34
Vfz	Filipova Huť	1 102	21. 2. 1970	46
Wa	Frymburk	985	6. 1. 1975	15
Wal	–	–	–	–
Wc	Železná Ruda	947	26. 2. 2002	75
Wcs	Chrást	1 118	9. 2. 1970	50

Tab. 4c: Oblast Šumavy

4 Nástroje k určení extremity silného sněžení

Extremitu nebezpečného hydrometeorologického jevu (silného sněžení) nemůžeme určit univerzálním či jednoduchým nástrojem. Problematické je samotné definování extrémní události. Extrémní události jsou zpravidla snadno rozpoznatelné, avšak jen velmi těžko definovatelné (Stephenson, 2008).

Značný vliv na to má časoprostorová variabilita intenzity sněhových srážek, doba opakování extrémní události silného sněžení, ale i míra ohrožení silným sněžením ve vztahu k obyvatelstvu, lidskému zdraví a infrastruktuře. Zasáhne-li událost silného sněžení hustěji osídlené oblasti, kde žije majetnější část obyvatelstva s vyspělou infrastrukturou, potom bývají dopady této události podstatně vyšší, než pokud zasáhne vyšší polohy či horské oblasti, kde hustota zalidnění a celková zranitelnost vůči extrémním jevům je podstatně nižší a představuje minimální riziko.

4.1 Bodová hodnota výšky nového sněhu (SNO)

Výška nového sněhu (SNO) je jeden z možných nástrojů sloužící pro zjištění bodové extremity silného sněžení v Česku. Udává se v centimetrech a údaj o výšce nového sněhu nám říká, jak vysoká vrstva nového sněhu napadla k 7. hodině místního času (19. hodině místního času) za uplynulé 24hodinové (12hodinové) období v prostorách meteorologické zahrádky klimatologické (synoptické stanice).

Bodové hodnoty výšek nového sněhu v prostoru jsou základem tvorby plošné interpolace pomocí interpolačních funkcí, která je podkladem pro zjištění plošné extremity silného sněžení. Nástroj k hodnocení extremity podle SNO poskytuje pouze kvantitativní informaci o bodové extremitě (bodově naměřené maximální hodnotě na konkrétní meteorologické stanici během události), ale neodráží žádnou informaci o extremitě z hlediska počtu zasažených obyvatel či rozlohy zasaženého území událostí silného sněžení.

V českém prostředí lze extremitu podle SNO považovat za doposud jediný způsob, který se používá a slouží k hodnocení extremity u intenzivního sněžení v rámci meteorologické služby ČHMÚ. V této práci je hodnocení extremity podle SNO použito jako jeden ze tří možných způsobů hodnocení extremity epizod silného sněžení. Hodnocení extremity podle SNO je založené na sestavení 10 maximálních hodnot SNO během dnů s událostmi, a vzájemném porovnání maximální hodnoty SNO v rámci jednotlivých epizod sněžení.

4.2 Systém integrované výstražné služby (SIVS)

SIVS patří mezi společně poskytovanou výstražnou službu Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ) a Odboru hydrometeorologického zabezpečení Vojenského geografického a hydrometeorologického úřadu (Odboru HMZ VGHMÚř – meteorologická služba Armády ČR) se sídlem v Dobrušce. Hlavní smysl SIVS spočívá podle doporučení Světové meteorologické organizace (WMO) a filozofie Evropského výstražného systému (Meteoalarm) ve vydávání výstražných informací a prevencí před následky nebezpečných meteorologických a hydrologických jevů (ČHMÚ, 2014).

Meteoalarm je webová služba určená k poskytování varování před nebezpečnými meteorologickými a hydrologickými jevy v reálném čase na území Evropy. Cílem této služby je včas informovat obyvatelstvo a turisty o nebezpečných projevech počasí v dílčích evropských státech a částečně předejít úmrtnosti s nimi spojenými. Přesto i s těmito vylepšeními bude úmrtnost související s počasím nadále pokračovat (Cervený et al., 2017).

Ke každému jevu je na základě předpokládané míry intenzity přiřazen jeden ze tří stupňů úrovně nebezpečí, kdy zelená barva nepředstavuje žádné riziko (bez výstrahy), a naopak červená barva představuje již pravděpodobný nebo pozorovaný výskyt extrémního nebezpečného jevu. Přiřazení míry intenzity se uskutečňuje podle kritérií pro vydávání výstražných informací, které se provádí na základě výstražné matice vyhodnocující kombinaci očekávané intenzity nebezpečného jevu a pravděpodobnosti jeho výskytu. V úvahu se při vydávání výstrahy bere v potaz úroveň pozornosti věnované předpovídanému jevu, potenciální škody, rozsah postiženého území a případné ohrožení či ztráty na lidských životech. V rámci SIVS může být výstražná informace vydána až na 44 potenciálních nebezpečných hydrologických či meteorologických jevů, které jsou rozdělené na devět větších skupin, z nichž jednu skupinu tvoří sněhové jevy. V rámci skupiny sněhové jevy jsou jevy dále rozlišovány jako nová sněhová pokrývka, vysoká nová sněhová pokrývka, extrémní sněhová pokrývka, vysoká celková sněhová pokrývka, silné sněžení, extrémně silné sněžení, sněhové jazyky, závěje, sněhová bouře (tab. 5).

Hodnocení extremity epizod silného sněžení podle SIVS lze použít na základě stanovených prahových hodnot u jednotlivých jevů v rámci skupiny sněhové jevy. Jednotlivé jevy mají pevně daná kritéria s rozlišením nadmořské výšky, u nichž lze hodnotit např. míra jejich překročení.

Tab. 5: Kritéria SIVS pro vydávání výstražných informací na sněhové jevy (zdroj: <http://portal.chmi.cz/informace-pro-vas/prezentace-a-vyuka/SIVS>)

Skupina jevů	Nebezpečný jev	Intenzita jevu	Výchozí pravděpodobnost	Kritéria pro vydání	Možné škody a doporučení
III. SNĚHOVÉ JEVY	Nová sněhová pokrývka	N	P > 50 %	E' > 7 cm/12h nebo E' > 15 cm/24h nebo E' > 25 cm/48h <u>pod 600 m</u> NEBO E' > 15 cm/12h nebo E' > 25 cm/24h nebo E' > 40 cm/48h <u>nad 600 m</u>	Intenzivní sněžení, podobně jako slabší sněžení v kombinaci s větrem, se stává omezujícím a nebezpečným povětrnostním jevem. Nová sněhová pokrývka i navátý sníh vedou ke zhoršení sjízdnosti komunikací a ke sněhovým kalamitám, které ovlivňují dopravu všeho druhu ...více
	Vysoká nová sněhová pokrývka	V	P > 50 %	E' > 15 cm/12h nebo E' > 25 cm/24h nebo E' > 35 cm/48h <u>pod 600 m</u> NEBO E' > 25 cm/12h nebo E' > 40 cm/24h nebo E' > 55 cm/48h <u>nad 600 m</u>	
	Extrémní sněhová pokrývka	E	P > 50 %	E' > 25 cm/12h nebo E' > 35 cm/24h nebo E' > 55 cm/48h <u>pod 600 m</u> NEBO E' > 40 cm/12h nebo E' > 55 cm/24h nebo E' > 80 cm/48h <u>nad 600 m</u>	
	Vysoká celková sněhová pokrývka	V	P > 50 %	E > 50 cm pod 600 m	
	Silné sněžení*	V	P < 50 %	E' > 3 cm/1h nebo E' > 6 cm/1 až 3h pod 600 m, dodatečná kritéria (splněná být nemusí): FF > 7 m/s, VV < 100 m	
	Extrémně silné sněžení*	E	P < 50 %	E' > 5 cm/1h nebo E' > 10 cm/1 až 3h pod 600 m, F _m F _m > 20 m/s	
	Sněhové jazyky	N	P > 50 %	E (prachový) > 5 cm, FF > 7 m/s, pod 800 m	
	Závěje	V	P > 50 %	E (prachový) > 10 cm, FF > 10 m/s	
	Sněhová bouře	E	P < 50 %	E(prachový) > 15 cm, FF > 15 m/s	

Vysvětlivky

* - jevy, na které se vydává výstražná informace na jejich výskyt (P=100 %)

Zkratka	Význam	Jednotka
E	celková sněhová pokrývka	[cm]
E'	nový sníh	[cm]
FF	rychlost větru	[m/s]
F_mF_m	nárazy větru	[m/s]
VV	dohlednost	[m]

V rámci SIVS ČHMÚ jsou podle dostupných údajů o počasí denně vyhodnocovány výstražné informace a následně zařazeny do čtyř kategorií (tab. 6). Toto hodnocení je následně archivováno jako bulletin. Celkovou úspěšnost ve vydávání výstrah (p) lze získat pomocí vztahu: $p = (a+c) / (a+b+c+d)$ (Valachová, 2009).

Tab. 6: Dílčí kategorie aplikované na vyhodnocení úspěšnosti výstražných informací:

Kategorie	Výstraha na jev	Pozorovaný výskyt jevu
<i>a</i>	NE	NE
<i>b</i>	ANO	NE
<i>c</i>	ANO	ANO
<i>d</i>	NE	ANO

(zdroj: Valachová, 2009)

Od roku 2019 na doporučení WMO došlo k inovaci a změně formy vydávání výstrah SIVS. Výstrahy jsou v současnosti vydávány formou všeobecného výstražného protokolu CAP (Common Alerting Protocol). Jedná se o zprávu určenou k předávání informací o nebezpečných hydrologických nebo meteorologických jevech a vyhlášených informacích smogového varovného a regulačního systému ve formě XML souborů pro úroveň jednotlivých SO ORP. Před rokem 2019 bylo vydávání výstrah SIVS na úrovni jednotlivých krajů Česka.

4.3 Index extremity počasí (WEI)

Pro hodnocení extremity meteorologických či klimatologických událostí byla vytvořena v roce 2014 nová metodika v podobě indexu extremity počasí WEI (Weather Extremity Index), kterou vytvořili Müller a Kašpar (2014). Index je jedinečný svým přizpůsobením se na konkrétní meteorologické události se zahrnutím prostorového a časového měřítka.

Výpočet indexu zahrnuje tři fáze postupu. V první fázi se nejprve zjišťuje extremita meteorologické události na meteorologických stanicích pomocí doby opakování naměřené hodnoty sledovaného meteorologického prvku. Doba opakování se vypočítává zpravidla pro jednodenní až vícedenní průměry sledovaného meteorologického prvku. Ve druhé fázi se bodová informace převádí na plošnou informaci do pravidelné sítě uzlových bodů (gridového pole) s pomocí interpolace logaritmů doby opakování. Poté se provede zpětná transformace logaritmů doby opakování k době opakování v každém uvažovaném uzlovém bodu sítě. Ve třetí fázi se zjišťuje zasažená plocha území, kde událost působila. Vzhledem k faktu, že událost působila v tomto území rozdílnou intenzitou, nelze jí hodnotit v předem vybraném území. Velmi důležitá je oblast s nejvyšší dosaženou extremitou u dané události silného sněžení, která bývá značně ovlivněna orografií. Výpočet zasažené plochy se získává pomocí seřazení všech pixelů rastru charakterizující plošnou dobu opakování, a to sestupně podle doby opakování. Následně se spočte geometrický průměr z dob opakování (Müller a Kašpar, 2014):

$$G_{ta} = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n N_{ti}} \quad (1.3),$$

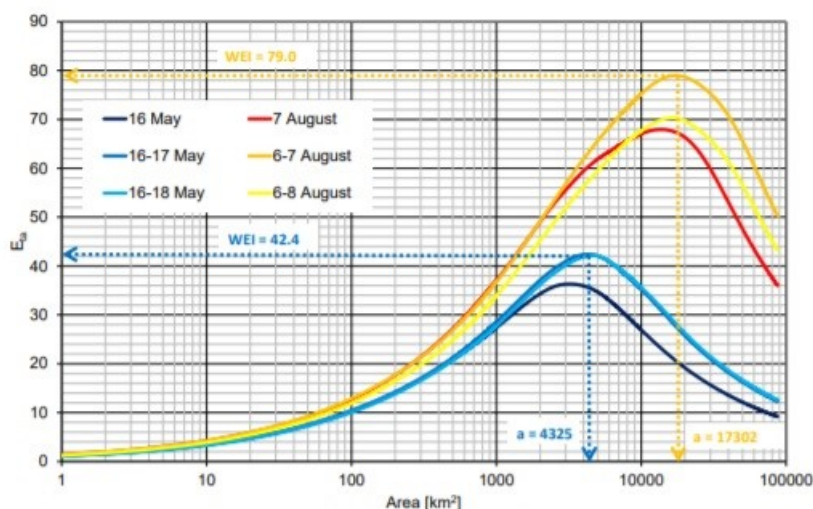
kde N_{ti} je doba opakování (N-letost) v pixelu i pro časové okno t ; n je počet použitých pixelů vytvářející plochu a .

Hodnotu WEI dané události lze stanovit pomocí proměnné E_{ta} , která je definována rovnicí:

$$E_{ta} = \log(G_{ta})R = \frac{\sum_{i=1}^n \log(N_{ti})}{n} \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{\pi}} \quad (1.4),$$

kde R představuje poloměr kruhu se stejnou velikostí jako plocha, ze které se počítá G_{ta} (geometrický průměr z dob opakování, viz rovnici 1.3). Hodnota E_{ta} vykazuje počáteční nárůst v souvislosti s přidáváním pixelů s vysokou dobou opakování, ale od okamžiku, kdy pokles doby opakování je výraznější než nárůst plochy, začne hodnota E_{ta} klesat (obr. 7). Hodnota E_{ta} v tomto bodě identifikuje extremitu meteorologické události v daném časovém okně a určuje velikost zasažené plochy.

Doba trvání události je rovná velikosti časového okna t , pro které dosáhne hodnota E_{ta} maximální hodnoty (Müller a Kašpar, 2014).

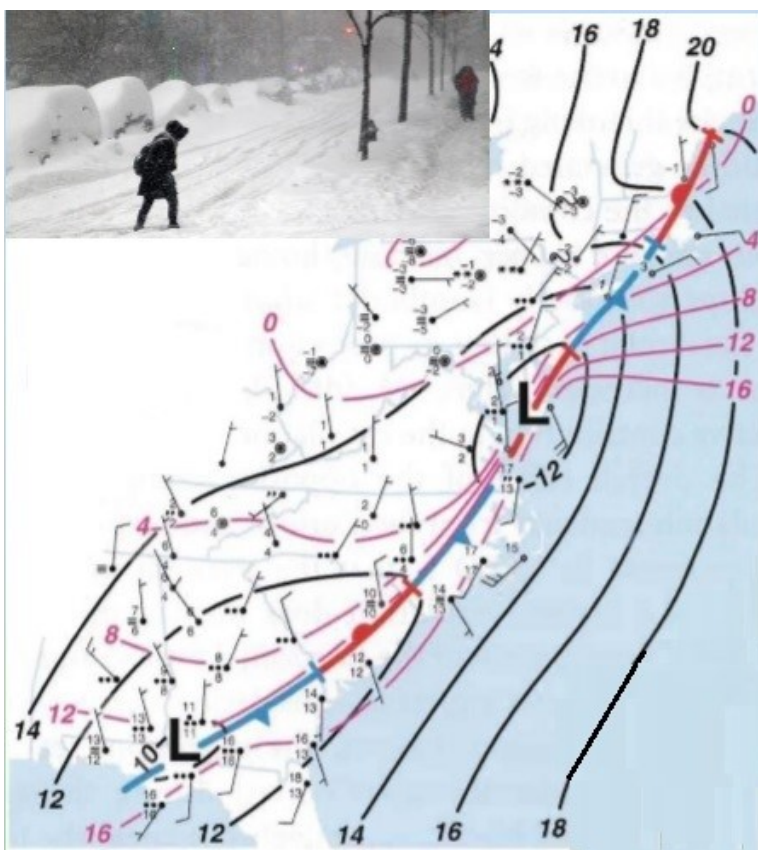


Obr. 7: Změny v hodnotách E_{ta} s rostoucí plochou uvažovaného území (Müller a Kašpar, 2014)

Doposud byl index WEI aplikován na silné srážky (Müller et al., 2015), větrné bouře (Kašpar et al., 2017) a vlny veder (Valeriánová et al., 2017). Díky vhodnému propojení časového, prostorového měřítka a optimálnímu přizpůsobení na konkrétní meteorologické události může být aplikovatelný i na události silného sněžení v Česku s různým časovým měřítkem (jednodenní, vícedenní apod). Problémem pro zpracování indexu WEI u případů událostí silného sněžení je prozatím nedostupnost sněhoměrných dat z husté staniční sítě pro veřejnost, přičemž k výpočtu doby opakování SNO jsou nutné datové řady za dlouhé časové období (minimálně třicetileté klimatologické období). Právě z tohoto důvodu nebude index WEI v této práci počítán a aplikován k hodnocení extremity událostí silného sněžení.

4.4 Regionální index sněžení (RSI)

Události silného sněžení často přinášejí negativní impakty na obyvatelstvo a lidskou společnost v podobě ztrát na lidských životech, škod na majetku, ekonomických ztrát, přerušení a zpoždění dopravních spojů (pozemních i leteckých), zdržení složek záchranné služby. Ve Spojených státech amerických na severovýchodním pobřeží jsou silné sněhové bouře vázané na tzv. pobřežní frontu „coastal front“ (viz příklad na obr. 8) nebo mimotropické cyklony označované jako nor'easters, které jsou často spojené s prudkou cyklogenezí a vhodnými podmínkami pro výskyt hlubokých cyklon pohybujících se podél severovýchodního pobřeží (Markowski a Richardson, 2010). Riziko účinku takto hlubokých cyklon je zvyšováno enormní koncentrací obyvatelstva a socioekonomických aktivit (Müller, 2016). S tím narůstá potřeba lépe porozumět dopadům událostí silného sněžení, které v zimním období oblast pravidelně zasahují (Squires et al., 2014).



Obr. 8: Přizemní analýza zachycující pobřežní frontu, která přináší do hustě osídlených aglomerací severovýchodu USA sněhovou bouři se silným sněžením v týlu tlakové níže. Tmavou barvou znázorněny izobary (hodnoty v hPa – 1000), růžovou barvou potom izotermie ve stupních Fahrenheita (°F) (Markowski a Richardson, 2010).

Již od 70. let minulého století se vědci v USA zabývali hodnocením dopadů výrazných meteorologických událostí silného větru ve vztahu ke škodám na majetku spojených s tornády (Fujita, 1971) a hurikány (Saffir a Simpson, 1971). K hodnocení dopadů silných sněhových bouří byl v roce 2004 americkými meteorology Paulem Kocin a Louisem Uccellini z Národní povětrnostní služby vyvinut index NESIS (Northeast snowfall impact scale). Index NESIS oproti Fujitově nebo Saffir-Simpsonově stupnici nehodnotí události jen z hlediska přírodního ohrožení, nýbrž i z hlediska rizika pro obyvatelstvo, tedy při hodnocení množství sněhu uvažuje nejen zasaženou plochu, ale i hustotu zalidnění. Hodnoty NESIS jsou počítány přímo a poskytují objektivní měřítko dopadů sněhové bouře na populaci (Kocin a Uccellini, 2004).

Index NESIS je vyjádřen vztahem:

$$NESIS = \sum_{n=4}^{n=30} \left[\frac{n}{10} \left(\frac{A_n}{A_{mean}} + \frac{P_n}{P_{mean}} \right) \right] \quad (1.5),$$

kde P_n je počet obyvatel podle sčítání lidu žijící v oblasti zasažené silným sněžením, označené jako A_n ; P_{mean} je průměrný počet obyvatel zasažených jednou z 30 událostí silného sněžení a prahovou výškou nového sněhu vyšší než 30 cm; A_{mean} je průměrná zasažená plocha, kde výška nového sněhu překračuje vybranou prahovou hodnotu (30 cm); n je vybraná prahová hodnota výšky nového sněhu v palcích dělená 10 (např. pro 10 palců: $n=1$) (Kocin a Uccellini, 2004).

Po desetiletém období došlo v roce 2014 k přizpůsobení indexu NESIS do podoby RSI (Regionální index sněžení). Autoři indexu uvádí, že „Regionální index sněžení je založen na prostorovém rozsahu sněhových srážek, intenzitě sněžení, a oba tyto parametry jsou vztaženy k hustotě zalidnění (populaci)“ (Squires et al., 2014, s. 1838).

Index RSI je vyjádřen vztahem:

$$RSI = \sum_{(T-T_1)}^{(T_4)} \left[\left(\frac{A_T}{\bar{A}_T} + \frac{P_T}{\bar{P}_T} \right) \right] \quad (1.6),$$

kde T je prahová hodnota pro silné sněžení specifická pro danou oblast, a zahrnuje čtyři intervaly; A_T je plocha zasažená silným sněžením vyšším než prahová hodnota T ; \bar{A}_T je průměrná plocha zasažená silným sněžením vyšším než prahová hodnota T ; P_T je počet obyvatel zasažených silným sněžením vyšším než prahová hodnota T ; \bar{P}_T je průměrný počet zasažených obyvatel silným sněžením vyšším než prahová hodnota

T. Prahová hodnota *T* pro silné sněžení je pro každý region značně specifická, a odráží klimatologickou charakteristiku daného regionu.

Výsledná vypočtená hodnota indexu představuje hrubé skóre. V dalším kroku je nutné stanovit kategorii RSI (0–5) na základě přiřazení do určitého intervalu hodnot hrubého skóre (tab. 7) (Squires et al., 2014). Regionální index sněžení vypočítává NOAA až pro 6 různorodých klimatických regionů ve Spojených státech amerických (obr. 9).

Tab. 7: Vztah mezi hrubým skóre RSI a kategoriemi RSI (používané v USA):

Kategorie	RSI hrubé skóre	Přibližné relativní zastoupení událostí silného sněžení v USA (%)	Popis kategorie
5	≥18,00	1	Extreme (Extrémní)
4	10,00 – 17,99	2	Crippling (Ochromující)
3	6,00 – 9,99	5	Major (Závažná)
2	3,00 – 5,99	13	Significant (Významná)
1	1,00 – 2,99	25	Notable (Pozoruhodná)
0	<1,00	54	Nuisance (Nepříjemná)

(zdroj: Squires et al., 2014)



Obr. 9: Klimatické regiony USA, pro které NOAA vypočítává regionální index sněžení
(zdroj: <https://www.ncdc.noaa.gov/snow-and-ice/rsi/>)

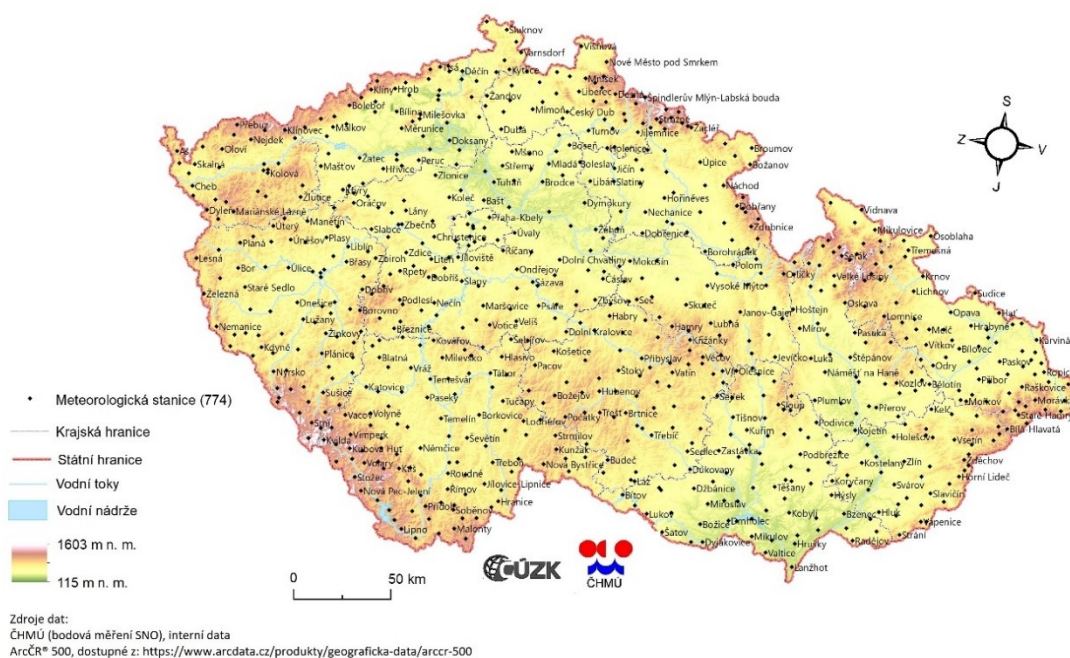
5 Analýza vybraných případů silného sněžení v Česku

Tato kapitola se zaměřuje na analýzu použitých metod při hodnocení extremity čtyř vybraných událostí silného sněžení v Česku mezi lety 2009 až 2013, které významně ovlivnily svými dopady lidskou společnost a prostorovou mobilitu obyvatelstva v Česku.

5.1 Data a metody

5.1.1 Staniční data výšky nového sněhu a úhrnů srážek

K analýze čtyř událostí silného sněžení, z nichž dvě významněji postihly nižší polohy, jedna střední polohy a jedna vyšší polohy, bylo zapotřebí použít vstupní bodová data, kterými byla termínová staniční měření výšky nového sněhu (SNO), doplněné o denní úhrny srážek (SRA), a to ze 774 meteorologických stanic (z toho 773 stanic staniční sítě ČHMÚ, 1 stanice s vlastními amatérskými měřeními od roku 2012) s časovým krokem měření 24 hodin (obr. 10). Staniční data SNO a SRA ze 773 stanic byla poskytnuta ČHMÚ na základě předchozí objednávky pro 10 vybraných termínů klimatologických měření (vždy k 7. hodině místního času), kdy docházelo v předchozím období k významnému nárůstu výšky nového sněhu a tvorbě sněhové pokrývky.



Obr. 10: Poloha vstupních meteorologických stanic (data: ČÚZK, ČHMÚ, vlastní zpracování v softwaru ArcGis)

Jedním z použitých kritérií k hodnocení extremity epizod silného sněžení bylo stanovení maximální hodnoty SNO pro každý den události. Následně byla nejvyšší maximální hodnota SNO sestavena pro každou událost zvlášť, a to na základě maximálních denních hodnot SNO ve dnech s událostí silného sněžení. Nakonec došlo k seřazení nejvyšších maximálních hodnot SNO v rámci čtyř událostí silného sněžení a určení nejextrémnější události z hlediska nejvyšší dosažené hodnoty SNO.

Pro lepší představu a prostorovou informaci o plošném rozložení SNO a SRA byla vytvořena série map pomocí interpolační metody CoKriging v softwaru ArcGis. Porovnáním map prostorového rozložení SNO a SRA u stejného dne události, čtenář získá informaci, zda docházelo například v nižších polohách k vypadávání tuhých srážek (s tvorbou nové sněhové pokrývky) či kapalných, nebo ve všech polohách se vyskytovaly pouze tuhé srážky. Tato informace je velice klíčová z hlediska hodnocení míry zasažení událostí silného sněžení v rámci jednotlivých oblastí Česka.

5.1.2 Prostorová interpolace výšky nového sněhu a srážek

Pro účely hodnocení plošné extremity podle kritérií SIVS a pomocí RSI bylo zapotřebí převést naměřená bodová data výšky nového sněhu (SNO) do plochy pomocí interpolační metody. Při analýze plošného odhadu výšky nového sněhu (SNO) je nutné mít dostatečně hustou staniční síť s bodovými měřeními SNO, a s ohledem na citlivost a rozložení staničních dat i vhodně zvolenou interpolační metodu. U interpolace bodových měření výšky nového sněhu v prostoru byl uvažován faktor nadmořské výšky (využití digitálního modelu reliéfu s nejjemnějším rozlišením sítě uzlových bodů 5 x 5 metrů). Zároveň nutno podotknout problematiku v případě bodových měření SNO, což je neuvažování sesedání sněhové pokrývky za uplynulé 24hodinové období.

Mezi často používané metody v oblasti interpolace srážek patří metoda IDW (metoda vážené inverzní vzdálenosti, viz vztah 1.7) (Tolasz et al., 2007). Při výpočtu metody IDW je použit vážený průměr (Chow et al., 1988). Metoda IDW zjišťuje hodnotu u každého bodu váženou lineární kombinací hodnot naměřených v nejbližších okolních pozicích, kde váhy popisují inverzní vzdálenosti vyjádřené vztahem:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{Z_i}{d_i^\beta}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^\beta}} \quad (1.7),$$

kde Z je hodnota interpolovaného bodu, Z_i představuje hodnotu naměřenou na i -tém bodě, d_i je vzdálenost mezi interpolovaným bodem a daným bodem s naměřenou hodnotou a β je koeficient ovlivňující sílu vah (doporučuje se mezi 1 a 3). V praxi má tento koeficient hodnotu 2, a v tomto případě je metoda nazývána metodou inverzních čtvercových vzdáleností (Juřiková, 2010).

Podstatou metody IDW je předpoklad, že vliv na interpolované hodnoty každého naměřeného bodu s rostoucí vzdáleností klesá, což znamená preferenci bližších bodů před vzdálenějšími body. Výhodou IDW metody je snadná implementace v prostředí ArcGis, kde se často aplikuje pro odvození gridové informace o srážkách (Janková, 2009).

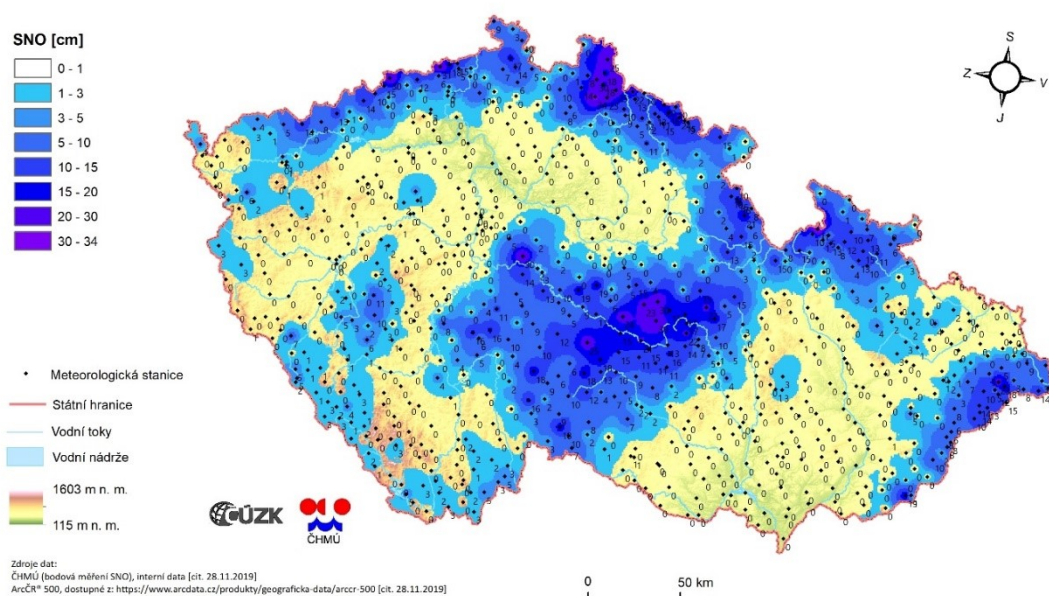
Limitující v případě metody IDW může být zanedbání mnoha relevantních faktorů, jako jsou například nadmořská výška nebo směr větru (Hrušková, 2006). Z tohoto důvodu právě metoda IDW není vhodná pro interpolaci SNO, neboť SNO závisí na nadmořské výšce (obr. 11)

Faktor nadmořské výšky a sklonitosti terénu v rámci metody IDW byl v meteorologii a klimatologii rozvinut na konci 90. let 20. století. Jedná se o metodu sklonitosti plus inverzních čtvercových vzdáleností (Nalder a Wein, 1998). Metoda takto modifikované IDW je popsána níže vztahem:

$$Z = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{Z_i + (X - X_i) \times C_x + (Y - Y_i) \times C_y + (E - E_i) \times C_e}{d_i^2}}{\sum_{i=1}^N \frac{1}{d_i^2}} \quad (1.8)$$

kde X_i a Y_i jsou geografické souřadnice bodu; E_i je nadmořská výška; C_x , C_y , C_e jsou regresní koeficienty pro x , y , e (nadmořskou výšku). Ani v tomto však není odstraněn.

Další nedostatek metody spočívá ve vytváření jakýchsi „očí“ okolo datového bodu. Eliminace „očí“ vyžaduje tedy pečlivé nastavení váhy – exponentu a počtu bodů, ze kterých je výsledná hodnota počítána. Obecně metoda IDW není moc vhodná pro interpolaci srážek, uspokojivé výsledky dává ale při modelaci terénu (Jeníček, 2009) (obr. 11).



Obr. 11: Ukázka mapy plošné interpolace výšky nového sněhu (SNO) vytvořené interpolační metodou vážené inverzní vzdálenosti (IDW) (data: ČHMÚ, ČÚZK, vlastní zpracování v softwaru ArcGis).

Z tohoto důvodu byla použita geostatistická metoda CoKrigingu, která se používá v případě vzájemné závislosti dvou a více zkoumaných veličin. Slouží k odhadu

proměnné na základě hodnot korelovaných veličin a jejich vztahů popsaných pomocí vzájemného semivariogramu (Nalder a Wein, 1998). CoKriging lze využít k dosažení predikce primárního datového typu (např. výška nového sněhu v prostoru), zároveň dokáže k tomu využít korelovanou sekundární informaci (např. nadmořská výška získaná z digitálního modelu reliéfu, teplotní pole apod.), což umožňuje zvýšit přesnost prostorové informace o rozložení sněhové pokrývky v daném území a lépe podchytit zemský povrch a jeho topografii. CoKriging (viz vztah 1.9) se proto jeví jako nejvhodnější interpolační metoda pro zpracování prostorových informací o SNO a SRA u jednotlivých událostí silného sněžení na území Česka. Výhodou metody je možnost zpracování v softwaru ArcGis a snadnější aplikovatelnost na větší datové soubory. Metoda CoKrigingu je vyjádřena níže vztahem:

$$\gamma_{zw}(h) = \frac{1}{2m(h)} \sum_{i,j=1}^{m(h)} [Z(x_i) - Z(x_i + h)][w(x_j) + w(x_j + h)] \quad (1.9),$$

kde $\gamma_{zw}(h)$ je hodnota v cross-variogramu pro závislou proměnnou z a sekundární proměnnou w oddělenou vzdáleností h , $w(x_j)$ je hodnota proměnné w v bodě x_j , $w(x_j+h)$ je hodnota proměnné w v bodě x_j+h (Erxleben et al., 2002).

Vlastní postup zpracování prostorové interpolace dat SNO pomocí metody CoKriging v prostředí softwaru ArcGis spočíval nejprve v popsání charakteristik datového souboru. Pomocí příkazu Normal QQPlot bylo zjištěno zobrazení vstupních dat vůči souboru v normálovému rozdělení. V případě, že byl splněn cíl normálního rozdělení, není zapotřebí u dat zvažovat transformaci. V případě bodových dat SNO transformaci nebylo potřeba provést, neboť data přibližně byla rozložena v poloze normálního rozdělení. Následně se vloží vstupní datové soubory, a to v případě Dataset 1: vektorová bodová vrstva SNO, Dataset 2: rastrová vrstva Digitálního modelu reliéfu 4. generace s prostorovým rozlišením 5 x 5 metrů. Posléze je určen typ metody CoKriging: Ordinary. Způsob transformace v tomto případě nebyl nastaven vlivem výše uvedeného. V případě dat SNO byl odstraněn globální trend prvního řádu, z dat nadmořské výšky DMR nebyl odstraňován. Poté bylo třeba na základě semivariogramu určit počet intervalů a jejich velikost. Počet intervalů byl u bodových dat SNO zvolen na hodnotu 12 a velikost intervalů stanovena na 2400 metrů. Při stanovení intervalu je nutné brát zřetel na náročnost výpočtu a vysoký počet bodových dat na plošně rozsáhlém území. Cílem bylo dosáhnout nejlepšího možného předpovědního výsledku pomocí interpolační metody CoKriging.

Ačkoliv v případě plošné interpolace SRA by metoda IDW šla použít relativně o něco lépe oproti SNO, protože závislost na nadmořské výšce není tak silná, nicméně existuje. Z tohoto důvodu byla využita metoda CoKrigingu s obdobným nastavením.

5.1.3 Návrh hodnocení extremity podle kritérií SIVS

Druhý způsob hodnocení extremity silného sněžení, a to z hlediska plošného rozsahu zasažené oblasti, byl navržen na základě kritérií SIVS. Silným sněžením je podle SIVS nebezpečný meteorologický jev s vysokou pravděpodobností výskytu, kdy výška nového sněhu přesáhne kritérium více než 3 cm za jednu hodinu nebo 6 cm za jednu až tři hodiny v polohách s nadmořskou výškou nižší než 600 metrů nad mořem (tab. 6). Výstražné informace vydávané na jev silné sněžení nemají charakter předpovědní výstražné informace, ale informace o výskytu (pozorování) nebezpečného meteorologického jevu (pravděpodobnost $p = 100 \%$) (viz tab. 6).

S ohledem na rozlišení staničních dat SNO (ve 24hodinovém časovém kroku) bude hodnocena extremita nebezpečných sněhových jevů na základě kritérií SIVS, u nichž je časové kritérium trvání intenzity 24 hodin (tj. nová sněhová pokrývka, vysoká nová sněhová pokrývka, extrémní sněhová pokrývka), nikoliv silné sněžení. Data v hodinovém rozlišení z husté sítě stanic nejsou nicméně pro území Česka k dispozici.

Na základě dostupných informací o prostorovém rozložení výšky nového sněhu a bodových hodnot SNO ze stanic ČHMÚ bude pro každou obec s rozšířenou působností (SO ORP) zjištěna maximální hodnota SNO. Ke každému SO ORP bude přiřazena informace o její rozloze a maximální nadmořské výšce SO ORP z dat Digitálního modelu reliéfu 4. generace s pravidelným rozlišením gridu 5 x 5 metrů. Na základě maximální nadmořské výšky SO ORP dojde k rozdělení SO ORP do dvou kategorií:

- 1) SO ORP s max. nadmořskou výškou < 600 m n. m.
- 2) SO ORP s max. nadmořskou výškou > 600 m n. m.

Prahové hodnoty pro obě kategorie jsou shrnuty v tab. 8. Z tab. 8 vyplývá, že v případě SO ORP kategorie 1) bude sledováno naplnění stanovených kritérií SIVS s prahovými hodnotami SNO (15 cm, 25 cm, 35 cm). V případě SO ORP kategorie 2) bude sledováno naplnění stanovených kritérií SIVS s prahovými hodnotami SNO (25 cm, 40 cm, 55 cm) (viz tab. 5, podkapitol 4.2).

Došlo-li k naplnění prahu s hodnotou SNO 15 cm v kategorii SO ORP 1) nebo 25 cm v kategorii SO ORP 2) (nízká intenzita jevu), bude rozloze daného SO ORP přiřazena

váha 1. Je-li naplněna prahová hodnota SNO 25 cm v kategorii SO ORP 1) nebo hodnota SNO 40 cm v kategorii SO ORP 2) (vysoká intenzita jevu), bude rozloze daného SO ORP přiřazena váha 2. V případě prahové hodnoty SNO 35 cm v kategorii SO ORP 1) nebo hodnoty SNO 55 cm v kategorii SO ORP 2) (extrémní intenzita jevu) bude k rozloze daného SO ORP přiřazena váha 3 (viz tab. 8). Nakonec se stanoví vážená rozloha všech zasažených území SO ORP na území Česka, vypočtená sumarizací dílčích rozloh SO ORP (po vážení podle míry intenzity zasažení nebezpečným sněhovým jevem).

Tab. 8: Kategorie SO ORP a použité váhy rozlišující stupně intenzity jevu k hodnocení extremity sněžení podle kritérií SIVS:

Kategorie SO ORP	Nízká intenzita jevu	Vysoká intenzita jevu	Extrémní intenzita jevu
SO ORP < 600 m n. m.	15 cm (váha 1)	25 cm (váha 2)	35 cm (váha 3)
SO ORP > 600 m n. m.	25 cm (váha 1)	40 cm (váha 2)	55 cm (váha 3)

5.1.4 Modifikace regionálního indexu sněžení

Třetí způsob hodnocení extremity vybraných událostí silného sněžení je pomocí indexu RSI, který bylo potřeba s ohledem na dostupná data modifikovat. K analýze počtu zasažených obyvatel událostmi silného sněžení na území Česka byla v prostředí softwaru ArcGis zvolena vektorová vrstva územní jednotky obcí s rozšířenou působností (SO ORP). Na základě dat z digitální vektorové geografické databáze ArcČR 500 byla získána vektorová data o obyvatelstvu žijících v polygonových vrstvách SO ORP. Data o počtech obyvatel pochází od Českého statistického úřadu z posledního Sčítání lidu, domů a bytů v roce 2011 (ČSÚ, 2011).

Pomocí vztahu pro výpočet hustoty zalidnění (počet obyvatel v SO ORP / rozloha SO ORP) byla získána informace o počtu žijících obyvatel na 1 km² v územní jednotce SO ORP. Na základě prostorové interpolace výšky nového sněhu (pomocí interpolační metody CoKriging uvažující i nadmořskou výšku) byly zjištěny zasažené plochy pro jednotlivé intervaly hodnot SNO u dílčích SO ORP. Vynásobením rozlohy plochy vybraného intervalu SNO v daném SO ORP s hodnotou počtu žijících obyvatel na 1 km² v územní jednotce SO ORP získáváme počet zasažených obyvatel událostí silného sněžení.

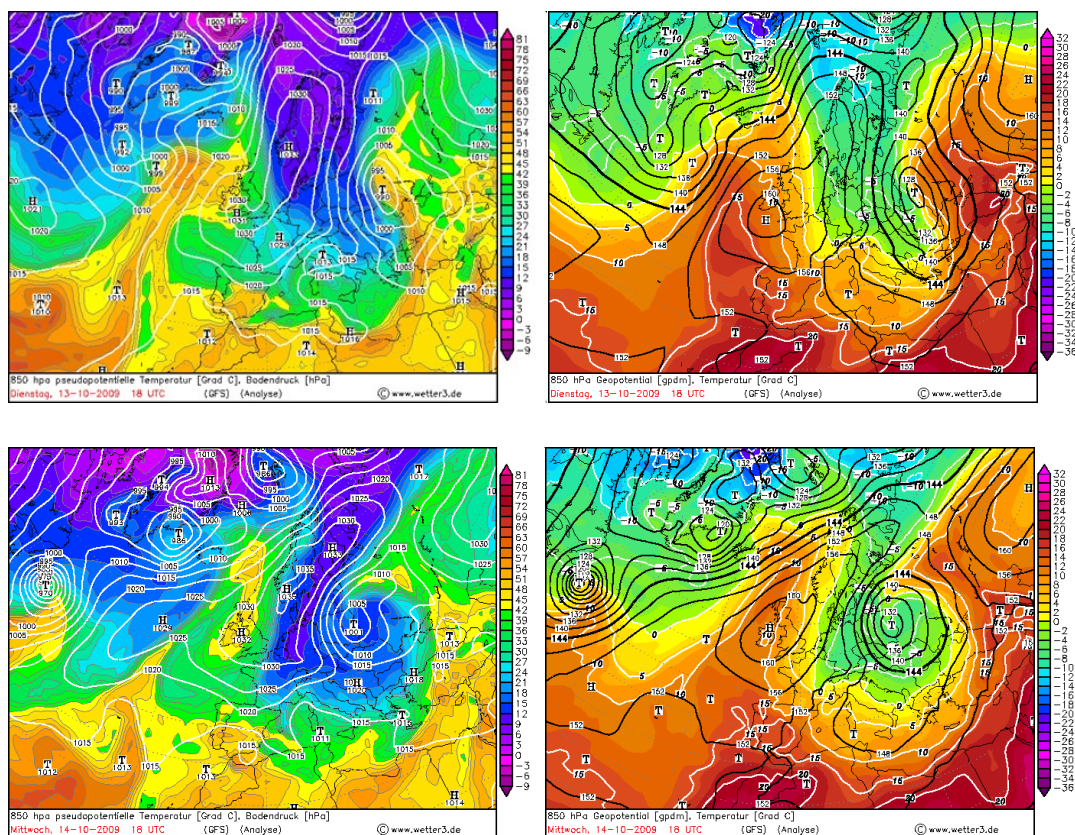
RSI pracuje s prahovými hodnotami pro různé klimatické regiony (viz obr. 9, podkapitulu 4.4). Prahové hodnoty pro Česko byly navrženy podle kritérií SIVS (viz tab. 5, podkapitulu 4.2). Vzhledem k tomu, že byla hodnocena pouze čtveřice vybraných událostí o celkové délce 10 dnů, musel být regionální index sněžení RSI mírně modifikován do podoby RSI*. Amean a Pmean je totiž nutné počítat z celého souboru událostí za dlouhé období. RSI* má proto mírně modifikované hodnoty průměru zasažené plochy a průměru počtu zasažených obyvatel. Průměrné hodnoty jsou s ohledem na získání reálnějšího výsledku výsledného regionálního indexu sněžení normalizované podle maximální hodnoty zasažené plochy a maximální hodnoty zasažené populace, tedy jako Amax a Pmax.

5.2 Přehled vybraných případů silného sněžení v Česku

K hodnocení extremity silného sněžení byly na základě výrazných interdiurních změn v hodnotách SCE vybrány čtyři významné události silného sněžení, které Česko zasáhly v období mezi lety 2009 až 2013. Jednotlivé události silného sněžení se od sebe odlišují různou dobou trvání (dvoudenní až třídní události), prostorovým rozsahem, intenzitou sněhových srážek ovlivněnou zejména nadmořskou výškou, výškou hladiny nulové izotermy, převládajícím směrem proudění a synoptickou situací, která byla příčinou události silného sněžení.

5.2.1 Událost silného sněžení 13. – 14. 10. 2009

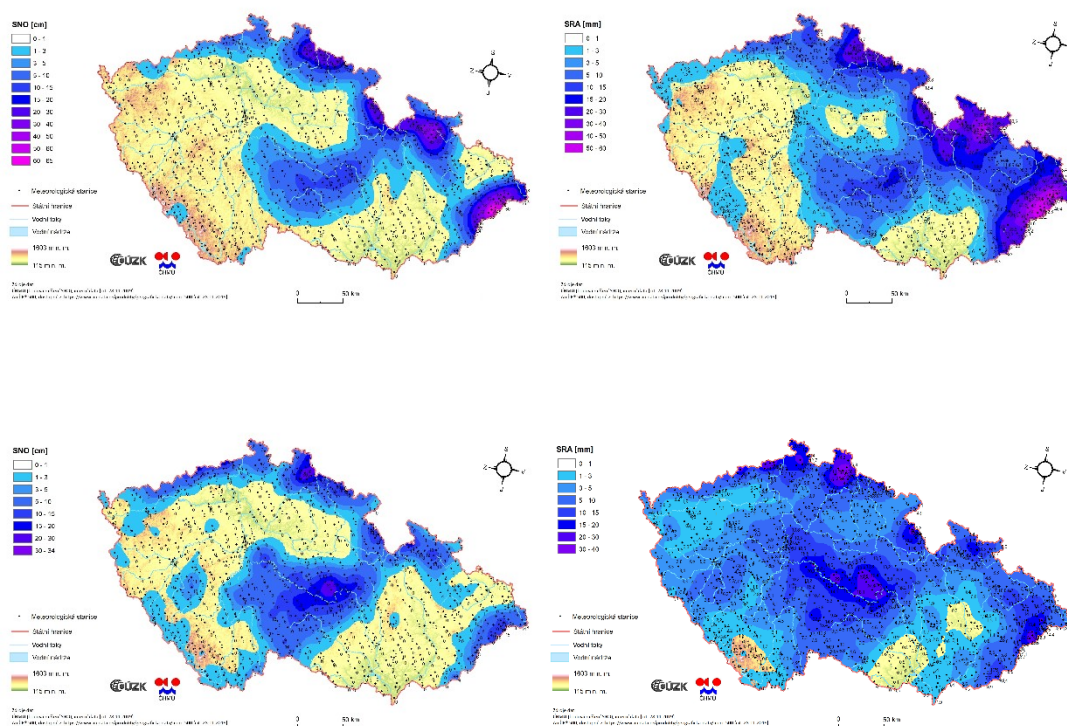
Příčinou události silného sněžení v polovině října 2009 byla středomořská tlaková níže pojmenovaná jako Xavier, která zasáhla zejména Beskydy, Jeseníky a střední polohy (nad 400 m n. m.) Liberecka, Českomoravské vrchoviny. Jednalo se o tlakovou níži s dráhou Vb cyklóny (Hofstätter a Blöschl, 2019), zvolna postupující od 11. října ze Středomoří (Janovského zálivu) přes Maďarsko nad Ukrajinu, odkud se retrográdně přesunula nad jih Polska (obr. 12). V kombinaci s přílivem studeného vzduchu od severu po zadní straně tlakové níže, blízkosti středu tlakové níže a toku vlhkosti od Středomoří přinesla na většinu území Česka srážky, lokálně i vydatnější, a od středních poloh i vydatnější sněžení (kromě jihozápadní poloviny Čech).



Obr. 12: Pseudopotenciální teplota v hladině 850 hPa (°C) a přízemní tlakové pole (hPa) (vlevo), geopotenciál hladiny 850 hPa (gpdam) a teplota vzduchu v hladině 850 hPa (°C) (vpravo) ve dnech 13. a 14. 10. 2009 v 18 UTC. Střed tlakové níže Xavier v blízkosti severovýchodní hranice Česka přináší do oblasti Jeseníků a Beskyd studené proudění od severu a silné sněžení. Zdroj: Wetter3.de

Vlivem návětrného efektu při čerstvém severozápadním až severním větru bylo sněžení dne 13. 10 nejen vydatné, ale i trvalé, a to zejména v horských oblastech na severovýchodě Česka (severní návětrná strana Jeseníků a Beskyd). Důsledkem návětrného efektu byly na měsíc říjen zaznamenané extrémní hodnoty výšky nového

sněhu a výšky celkové sněhové pokrývky v Beskydech (např. Lysá hora zaznamenala nejvyšší říjnovou hodnotu SNO 65 cm od roku 1897) a v Jeseníkách (viz Přílohu 1). Dne 14. 10. 2009 událost silného sněžení ovlivnila zejména Liberecko a Jablonecko (viz Přílohu 2), kde došlo v návaznosti na silné sněžení k vyhlášení kalamitní situace, které zmírňovalo jeho dopady. Komplikace přinesl zejména těžký mokrý sníh, který způsobil vlivem končícího vegetačního období četné polomy a vývraty listnatých stromů (obr. 14), nesjízdné dopravní komunikace, výpadky v dodávkách elektrické energie, uzavřené školy a několik odříznutých obcí v Beskydech. Na obr. 13 je patrná významná míra zasažení středních poloh a projevující se návětrný efekt zesílení sněhových srážek v oblasti Jeseníků a Beskyd. Patrný je kontrast, že v nižších polohách převážně docházelo k dešťovým srážkám, ale od středních poloh ke sněžení s významnou tvorbou sněhové pokrývky. Zejména dne 14. 10 je patrný při porovnání map SNO a SRA kontrast mezi oblastmi se sněžením a dešťovými srážkami. Minimálně zasažená byla Šumava, kde srážky byly zanedbatelné do několika jednotek milimetrů.



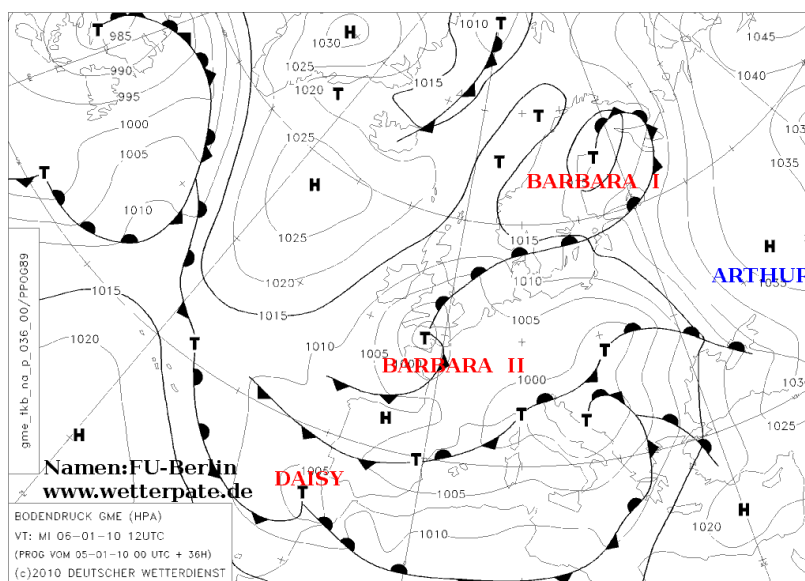
Obr. 13: Prostorové rozložení výšky nového sněhu SNO v cm (vlevo) a denního úhrnu srážek SRA v mm (vpravo) ve dnech 13. 10. 2009 (nahore) a 14. 10. 2009 (dole). Zdroj dat: ČHMÚ, ČÚZK, vlastní zpracování v softwaru ArcGis pomocí interpolační metody CoKriging.



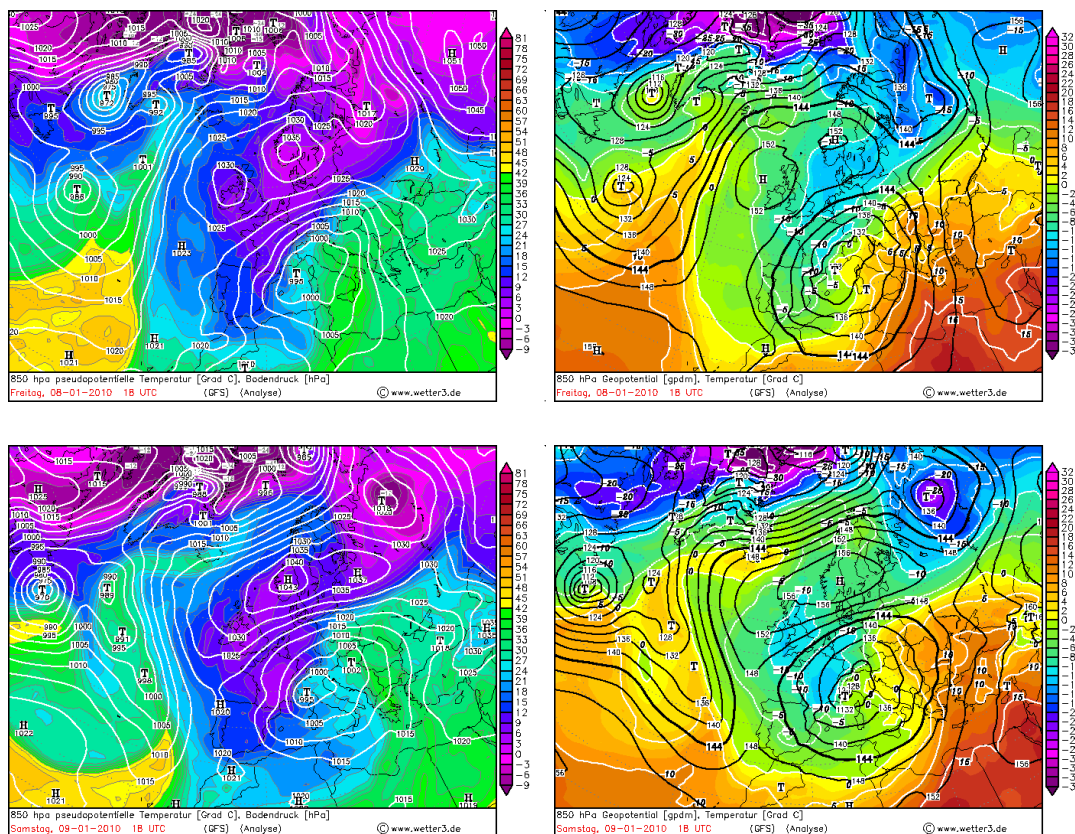
Obr. 14: Silné sněžení v Jablonci nad Nisou dne 14. 10. 2009. Zdroj obrázků: <http://balvan.net/>

5.2.2 Událost silného sněžení 8. – 10. 1. 2010

Lednová událost silného sněžení byla způsobena opět středomořskou tlakovou níží, tentokrát pojmenovanou Daisy, která pomalu postupovala od 6. 1. 2010 po dráze Vb cyklóny (Hofstätter a Blöschl, 2019) ze západního Středomoří (obr. 15) přes východní část Alp, Maďarsko, Slovensko až nad Ukrajinu, kde se postupně vyplnila. V kombinaci s přílivem studeného vzduchu ze severu, tokem vlhkosti ze Středomoří, a s postupně se přibližujícím výrazným zvlněným teplotním rozhraním, nastala v Česku synoptická situace pro plošné vícedenní vydatné a trvalé sněhové srážky (obr. 16), a to zejména v Čechách, kde převládaly záporné teploty (obr. 18). Výrazné zvlněné teplotní rozhraní se postupně přesouvalo z Balkánského poloostrova až do střední Evropy, kdy 9. 1. 2010 dosáhlo přibližně pomezí Čech a Moravy (obr. 16). Na Moravě a ve Slezsku se začal postupně projevovat teplý sektor cyklony s kladnými teplotami vzduchu v hladině 850 hPa, což zde vedlo ke vzniku mrznoucích srážek s tvorbou ledovky na přechlazeném zemském povrchu (obr. 18).



Obr. 15: Přízemní tlakové pole (hPa) dne 6. 1. 2010 12 UTC. Tlaková níže Daisy vznikla nad západním Středomořím a začala postupovat po dráze Vb cyklóny až do Česka, kde způsobila silné sněžení. Zdroj: <http://www.met.fu-berlin.de/wetterpate/archiv/>

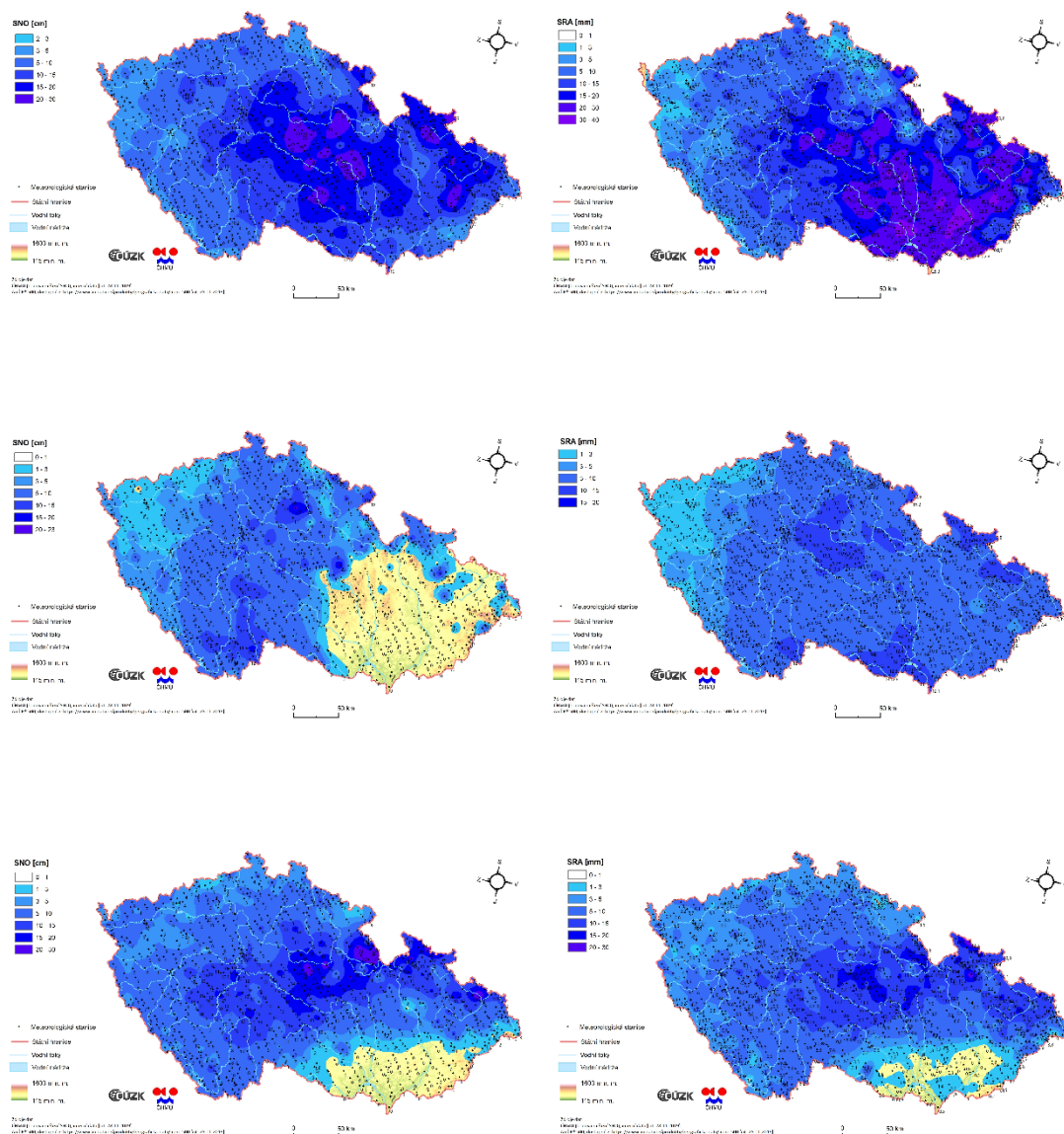


Obr. 16: Pseudopotenciální teplota v hladině 850 hPa (°C) a přízemní tlakové pole (hPa) (vlevo), geopotenciál hladiny 850 hPa (gpdam) a teplota vzduchu v hladině 850 hPa (°C) (vpravo) ve dnech 8. a 9. 1. 2010 v 18 UTC. Patrné je výrazné zvlněné frontální rozhraní nad Českem a postupující tlaková níže Daisy ze západního Středomoří do Střední Evropy. Zdroj: Wetter3.de

Důsledkem byly velké rozdíly ve výšce nového sněhu mezi krajskými městy v nížinách a horskými polohami pásemných pohraničních pohoří (Šumava, Krušné a Jizerské hory), kde byly zaznamenány zanedbatelné výšky nového sněhu a nízké srážkové úhrny. Nejvíce zasaženými oblastmi silným sněžením byly paradoxně nižší polohy Čech a zejména větší krajská města (Praha, Pardubice), Polabí, Žatecko, dále Orlické hory a částečně Ostravsko (viz Přílohu 3, 4, 5). Zajímavostí u nižších poloh a větších krajských měst v Čechách byl pak v meteorologické zimě 2010 vysoký počet dní se sněhovou pokrývkou, který v Praze dosahoval téměř 60 dnů (2. 1. 2010 až 28. 2. 2010). Na okrajích Prahy navíc výška celkové sněhové pokrývky dosáhla dne 10. 1. 2010. až 30 cm prachového sněhu (obr. 19).

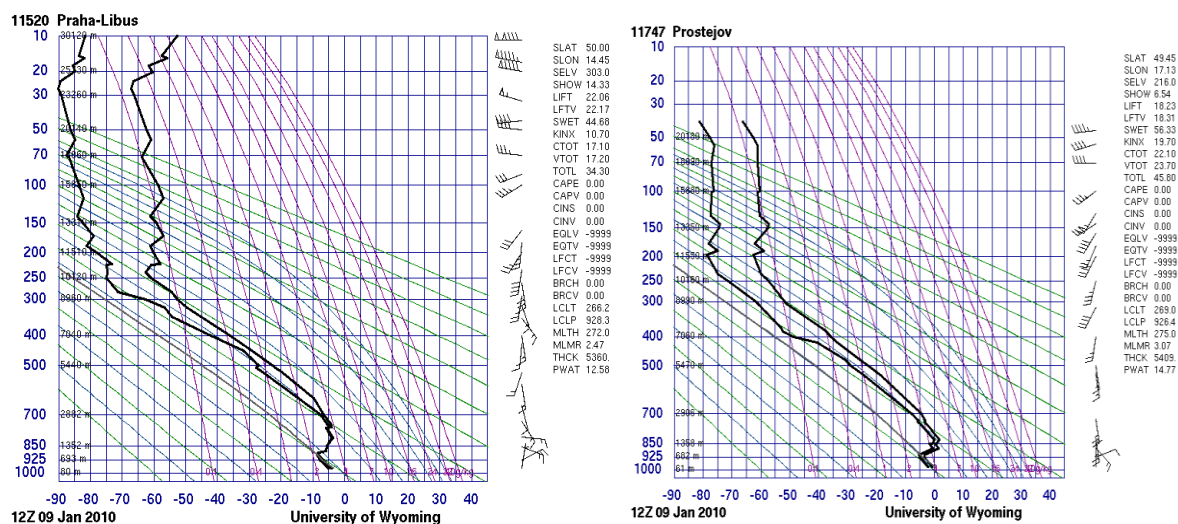
Na obr. 17 je patrné, že faktor nadmořské výšky neměl velký vliv z hlediska distribuce sněhových srážek oproti předchozí říjnové události v roce 2009. Dne 8. 1. 2010 se jednalo o celoplošné trvalé a vydatné sněžení, v dalších dnech vlivem postupujícího zvlněného teplotního rozhraní byla většina území Moravy a Slezska bez sněhových

srážek. Vlivem přílivu teplejšího vzduchu od jihovýchodu převládaly dešťové srážky. Významně zasažené vydatným sněžením jsou krajská města v Čechách, méně pak Jizerské a Krušné hory.



Obr. 17: Prostorové rozložení výšky nového sněhu SNO v cm (vlevo) a denního úhrnu srážek SRA v mm (vpravo) ve dnech 8. 1. 2010 (nahore), 9. 1. 2010 (uprostřed) a 10. 1. 2010 (dole). Zdroj dat: ČHMÚ, ČÚZK, vlastní zpracování v softwaru ArcGis pomocí interpolační metody CoKriging.

Z hlediska maximální teploty vzduchu byl v Čechách zaznamenán po celou dobu události ledový den (tj. den, kdy maximální teplota vzduchu nepřesáhla hranici 0°C), ale na Moravě vlivem teplého sektoru maximální teplota vzduchu přesáhla hranici 0°C , sněhová pokrývka tak postupně odtávala.



Obr. 18: Stúveho diagramy z termínu 9. 1. 2010 12 UTC, vľavo Praha-Libuš, vpravo Prostějov. Zejména v Prostějově je patrný příliv teplejšího vzduchu v hladině 850 hPa. Zdroj: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

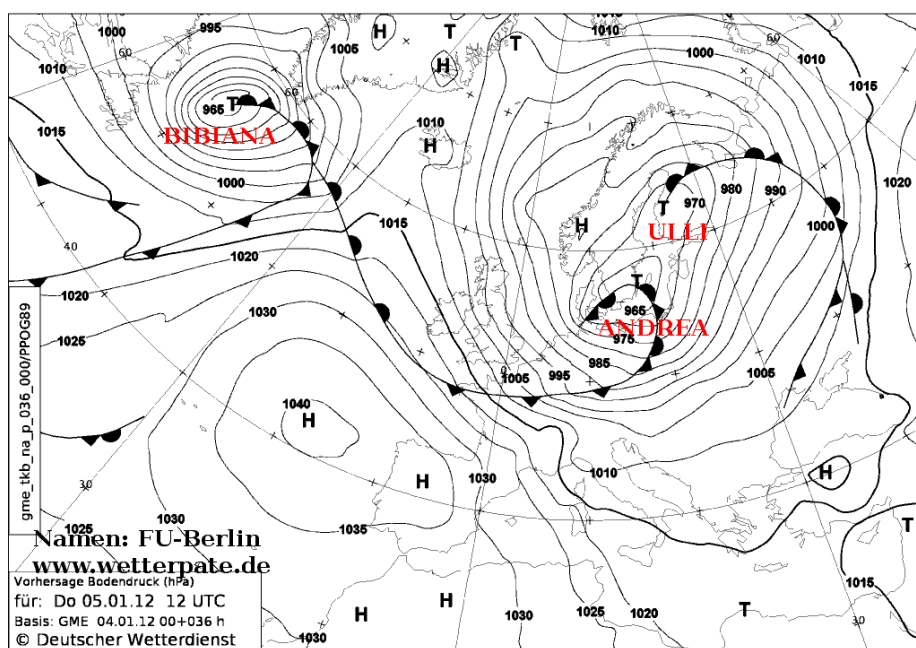
Lednová událost silného sněžení v roce 2010 přinesla ztráty až tří lidských životů (z toho dva lidé zemřeli při dopravní nehodě vlivem nesjízdnosti komunikace, jeden člověk na infarkt při odklizení nově napadlého sněhu). Událost způsobila řadu komplikací spojených nejen s kolabující dopravou napříč Českem (nesjízdné komunikace, zpoždění spojů, namrzlé troleje, uzavřené pražské ruzyňské letiště), ale i výpadky v energetice, problémy s těžkým padajícím sněhem ze střech budov, a poškození střech pod tíhou sněhu. Na Moravě při mrznoucím dešti byla problematická tvorba ledovky s tloušťkou ledu až přes 2 cm.



Obr. 19: 30 centimetrová vrstva prachového sněhu po silném sněžení v pražských Strašnicích (231 m n. m.) dne 10. 1. 2010. Zdroj: vlastní archiv

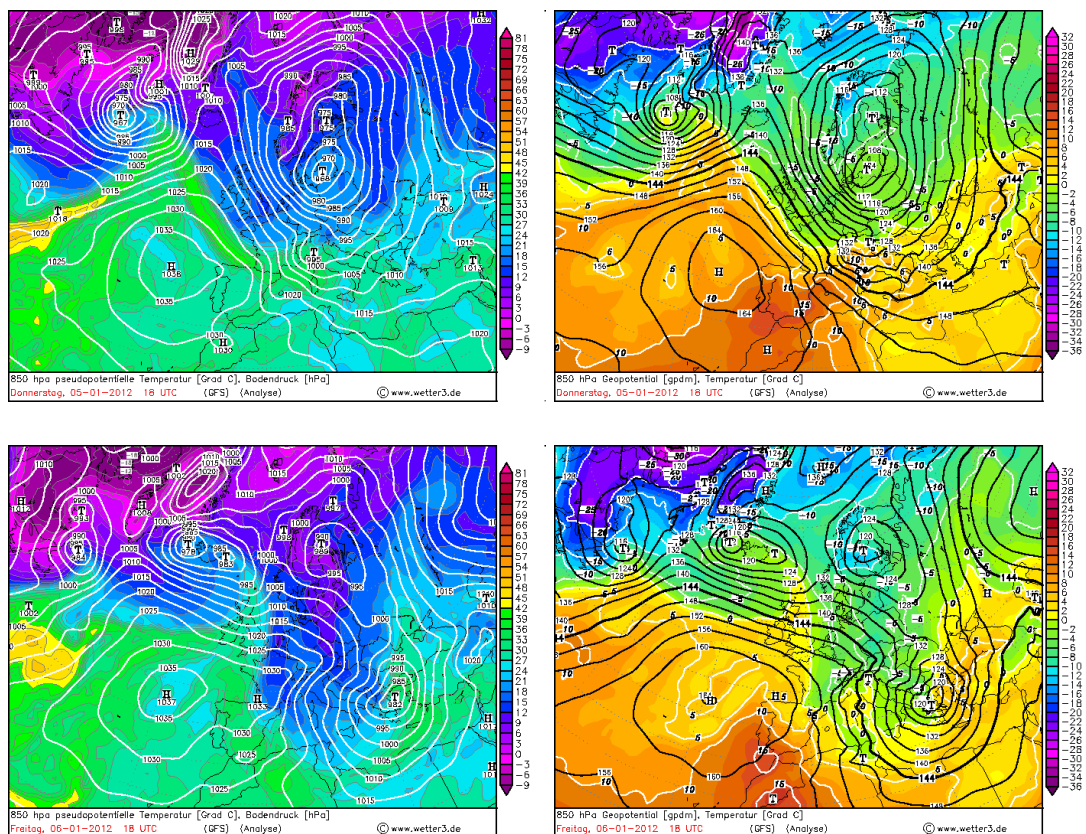
5.2.3 Událost silného sněžení 5. – 6. 1. 2012

Oproti předchozím událostem silného sněžení (způsobenými středomořskými tlakovými nížemi s dráhou Vb) se tato událost významněji liší z hlediska příčinné synoptické situace. Příčinou události byla rychle postupující hluboká tlaková níže Andrea (obr. 20), která postupovala v silném severozápadním proudění ze severního Atlantiku přes Britské ostrovy až nad Pobaltí, a dále k severovýchodu nad východní Skandinávii. Po její zadní straně do Česka postupně začal proudit chladnější a vlhčí vzduch od severozápadu (obr. 21).



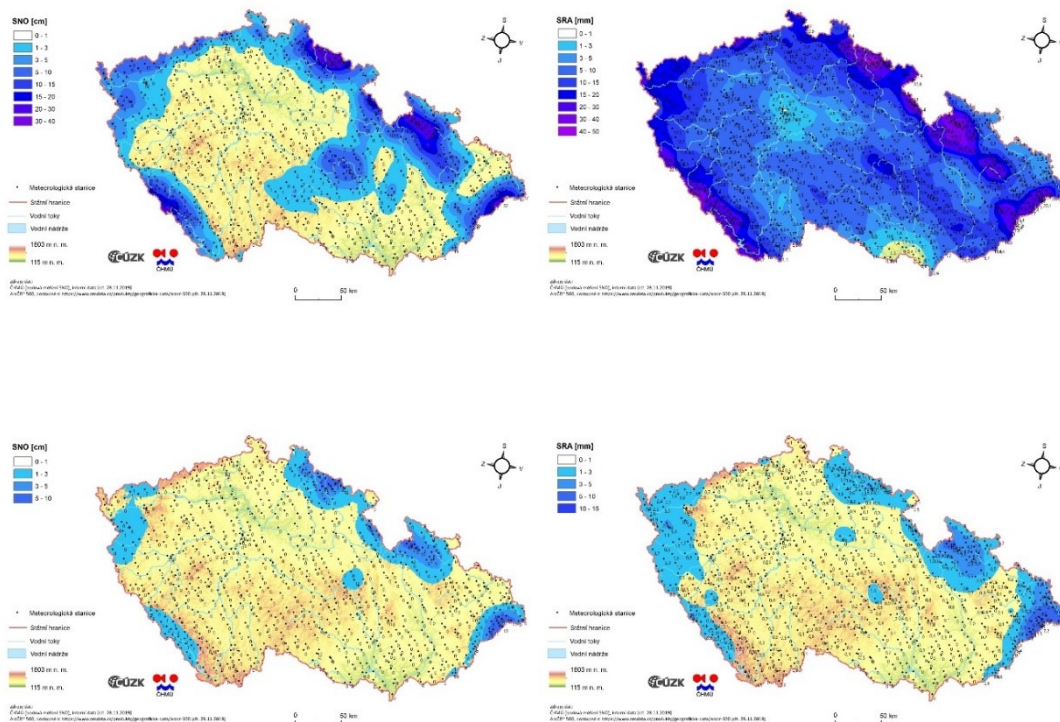
Obr. 20: Přizemní tlakové pole (hPa) dne 5. 1. 2012 12 UTC. Hluboká tlaková níže Andrea nad Pobaltím, která přináší do Česka vichřici a do vyšších poloh také silné sněžení. Zdroj: <http://www.met.fu-berlin.de/wetterpate/archiv/>

V chladném a vlhkém severozápadním proudění docházelo k vývoji silných sněhových přeháněk v polohách nad 500 m n. m., a rychlé tvorbě sněhové pokrývky ve vyšších polohách zhruba nad 600 m n. m. (viz Přílohu 6, 7), která byla spojena vlivem působení silného proudění s tvorbou sněhových jazyků a závějů (obr. 25). V Krušných horách byl zaznamenán i výskyt zimních bouřek, které doprovodila slabší blesková aktivita (obr. 24). Instabilitu spodní troposféry potvrzuje i aerologická sondáž z pražské Libuše (obr. 23). Ve vyšších polohách vlivem intenzivního sněžení, výrazně snížené dohlednosti, velmi silného větru s nárazy přes 35 m/s, vysoko zviřeného sněhu a ojedinělé bleskové aktivity byly splněny podmínky pro výskyt nebezpečné sněhové bouře.

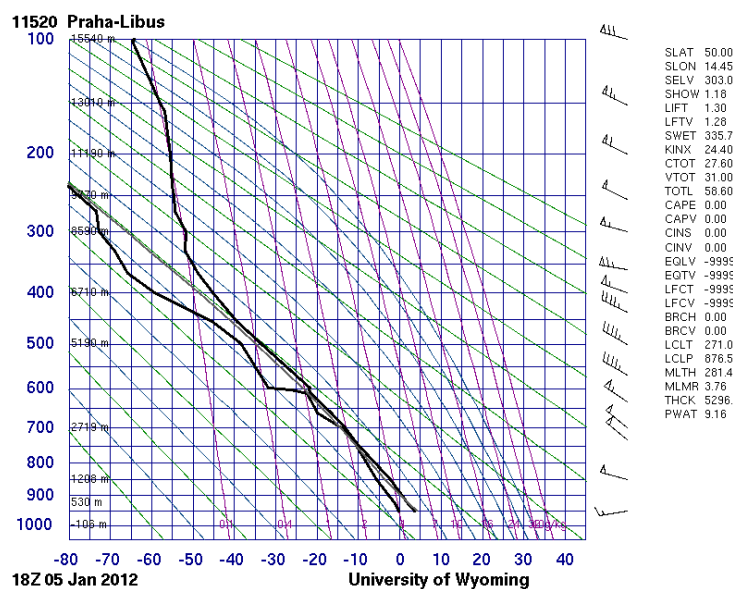


Obr. 21: Pseudopotenciální teplota v hladině 850 hPa ($^{\circ}\text{C}$) a přízemní tlakové pole (hPa) (vlevo), geopotenciál hladiny 850 hPa (gpdam) a teplota vzduchu v hladině 850 hPa ($^{\circ}\text{C}$) (vpravo) ve dnech 5. a 6. 1. 2012 v 18 UTC. Hluboká tlaková níže Andrea nad Pobaltím a její postup nad Skandinávií spojený s chladným a vlhkým severním prouděním v Česku. Zdroj: Wetter3.de

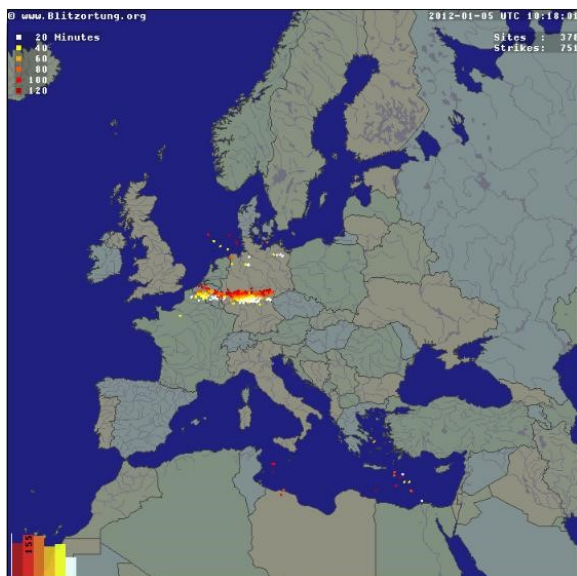
Na obr. 22 je patrné, že událost silného sněžení postihla především méně osídlené oblasti ve vyšších až horských polohách Krkonoš, Jeseníků, Beskyd a Šumavy. Dne 5. 1. 2012 napadlo nejvíce nového sněhu v Krkonoších (např. Pec pod Sněžkou až 45 cm, Benecko 40 cm, Harrachov 37 cm), v Jeseníkách (např. Dlouhé Stráně 40 cm, Bělá pod Pradědem 33 cm), na Šumavě (např. Churáňov 30 cm). 6. 1. 2012 již sněžení ustávalo, zejména v Krkonoších byly zaznamenány mírné přírůstky výšky nového sněhu (např. Benecko a Luční bouda shodně 20 cm). V případě stanice Benecko ležící v nadmořské výšce 780 m n. m. napadlo během dvoudenní události silného sněžení až 60 cm nového sněhu, což je více než na hřebenových stanicích v Krkonoších. Vlivem velmi silného větru na hřebenech Krkonoš s nárazy přes 35 m/s mohlo docházet k vyvátí čerstvě napadlého prachového sněhu u měrného profilu, a následně k částečnému zkreslení informací o výšce nového sněhu v hřebenových partiích Krkonoš. Maximální denní srážkové úhrny se pohybují na hodnotách 59 mm (5. 1. 2012, Černý Důl) a 17 mm (6. 1. 2012, Visalaje).



Obr. 22: Prostorové rozložení výšky nového sněhu SNO v cm (vlevo) a denního úhrnu srážek SRA v mm (vpravo) ve dnech 5. 1. 2012 (nahore) a 6. 1. 2012 (dole). Zdroj dat: ČHMÚ, ČÚZK, vlastní zpracování v softwaru ArcGis pomocí interpolační metody CoKriging.



Obr. 23: Stüveho diagram 5. 1. 2012 18 UTC (Praha-Libuš) ukazující instabilní teplotní zvrstvení vhodné pro vznik zimních bouřek ve vyšších polohách. Zdroj: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>



Obr. 24: Blesková aktivita nad Evropou z termínu 5. 1. 2012 18 UTC. Zdroj: http://cs.blitzortung.org/archive_data.php?map=10

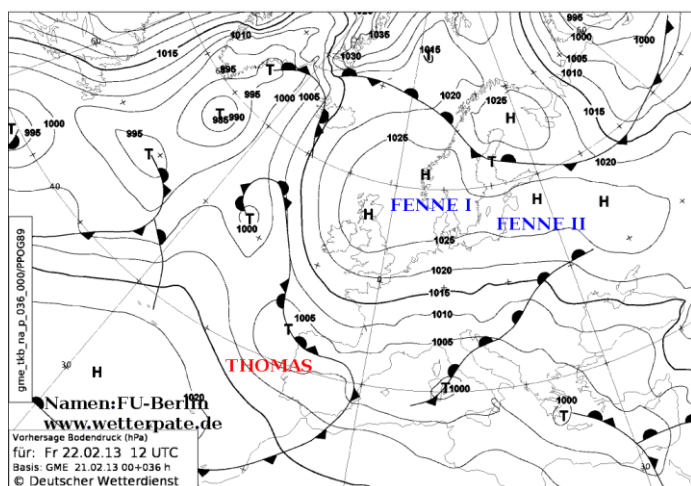


Obr. 25: Sněhové závěje (cca 3 týdny po silném sněžení) na Jizerce (858 m n. m.) dne 26. 1. 2012. Zdroj: vlastní archiv

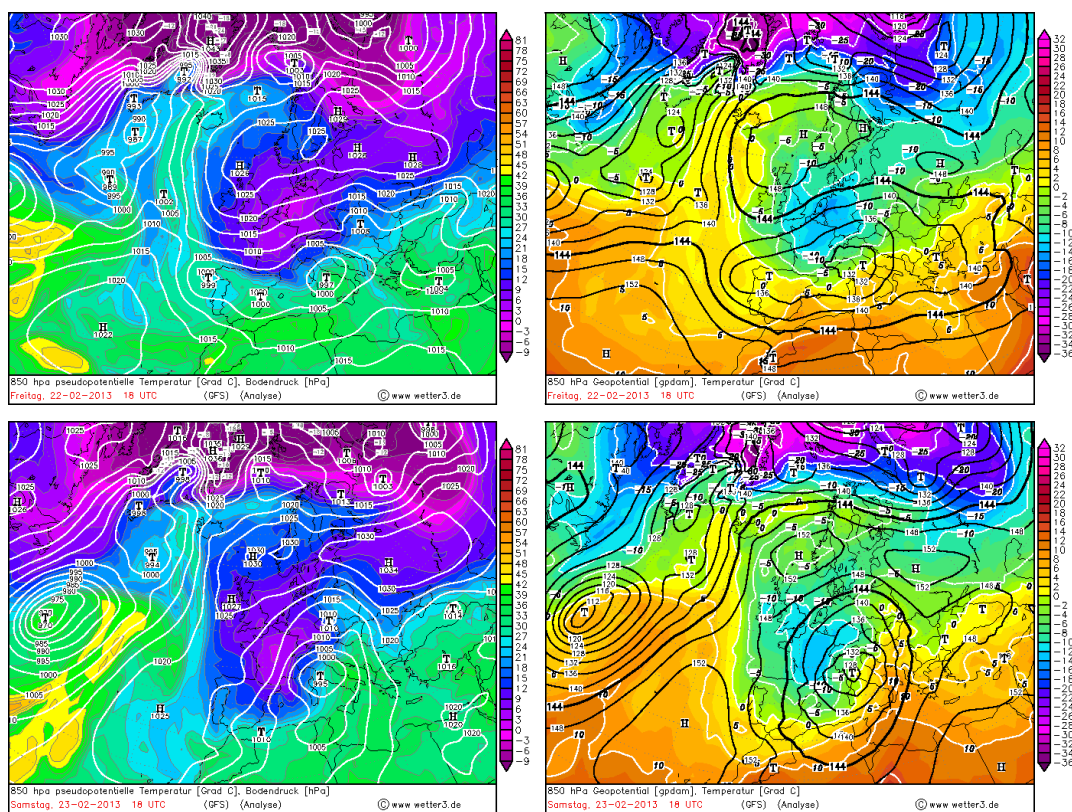
5.2.4 Událost silného sněžení 22. – 24. 2. 2013

Příčinou události byla středomořská tlaková níže nad centrálním Středomořím, a s ní spojené zvlněné frontální rozhraní postupující z Balkánského poloostrova dále směrem k severozápadu až nad území Česka (obr. 26, 27). Událost je z hlediska synoptických příčin velice podobná události silného sněžení z ledna 2010.

Mezi nejvíce zasažené oblasti událostí silného sněžení patří nižší a střední polohy Čech (Praha, Polabí, jižní Čechy, Česká Sibiř) a Krkonoše. Zejména v oblasti Středních Čech nalezneme i lokální extrémy s výškou nového sněhu přesahující 25 cm za den (viz Přílohu 8, 9, 10). Na okrajích Prahy podobně jako v lednu roku 2010 dosáhla výška celkové sněhové pokrývky dne 24. 2. 2013 až 30 cm mokrého těžkého sněhu (obr. 29).



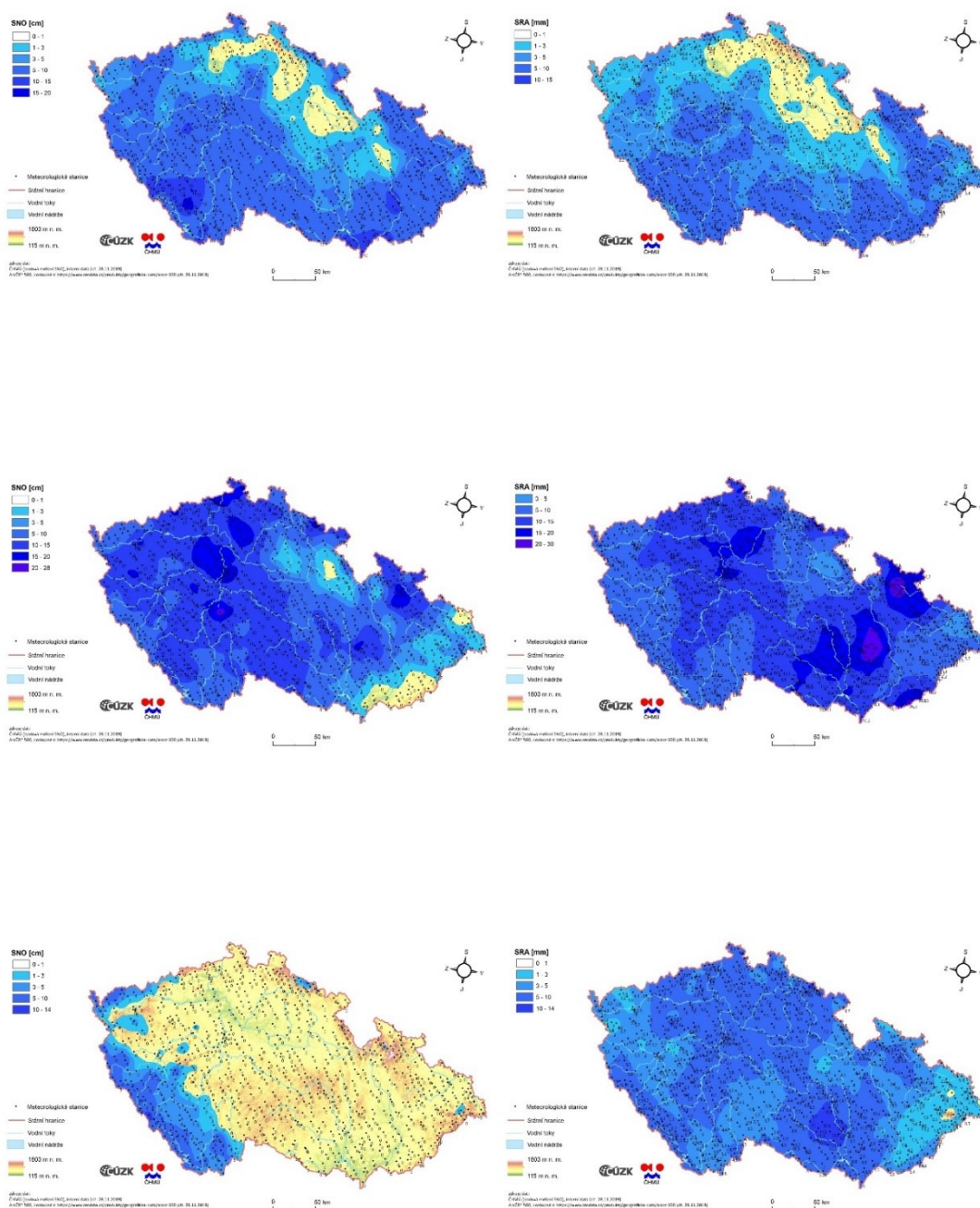
Obr. 26: Přízemní tlakové pole (hPa) dne 22. 2. 2013 12 UTC. Středomořská tlaková níže nacházející se nad centrálním Středomořím (střed tlaku vzduchu 1000 hPa) a zvlněné frontální rozhraní postupující od jihovýchodu. Zdroj: <http://www.met.fu-berlin.de/wetterpate/archiv/>



Obr. 27: Pseudopotenciální teplota v hladině 850 hPa (°C) a přízemní tlakové pole (hPa) (vlevo), geopotenciál hladiny 850 hPa (gdam) a teplota vzduchu v hladině 850 hPa (°C) (vpravo) ve dnech 22. a 23. 2. 2013 v 18 UTC..

Poměrně rychlý nástup oteplení od jihovýchodu přinesl dne 24. 2. 2013 výraznější oblevu spojenou s vyššími teplotami vzduchu výrazně nad 0 °C. S tím související těžknutí sněhové pokrývky následně způsobilo komplikace zejména v lesnictví (polomy) a energetice.

Obr. 28 ukazuje, že událost postihla výrazněji nižší a střední polohy Středních Čech, oblast České Sibiře, Šumavu, ale i Jeseníky a východní Krkonoše. Zejména ve Středních Čechách (včetně Prahy) napadlo za celé období události až přes 30 cm nového sněhu, který byl vlivem teploty vzduchu kolem bodu mrazu mokrý a těžký. Dne 22. 2. 2013 s pozvolným postupem sněžení z jižních směrů byla zaznamenána maxima výšky nového sněhu zejména v Jižních Čechách, Jižní Moravě a na Zlínsku (např. Ktiš 18 cm, Prachovice 15 cm, Mikulov na Moravě 13 cm). O den později 23. 2. 2013 se sněžení významněji rozšířilo na většinu území Čech (např. Nedrahovice 28 cm, Děčín 24 cm, Kralupy nad Vltavou 22 cm, Praha – Chodov 20 cm). Poslední den události 24. 2. 2013 přinesl slabé přírůstky výšky nového sněhu pouze do oblastí jihozápadní poloviny Čech (např. Prášíly 14 cm, Nýrsko 10 cm, Horská Kvilda 8 cm), na ostatním území Česka již přšelo. Maximální denní úhrny srážek dosahují během tří denního období události hodnot 29,8 mm (23. 2. 2013, Vrbno p. Pradědem – Vidly), 23,2 mm (22. 2. 2013, Dlouhé Stráně), 16,9 mm (24. 2. 2013, Pec pod Sněžkou).



Obr. 28: Prostorové rozložení výšky nového sněhu SNO v cm (vlevo) a denního úhrnu srážek SRA v mm (vpravo) ve dnech 22. 2. 2013 (nahore), 23. 2. 2013 (uprostřed) a 24. 2. 2013 (dole). Zdroj dat: ČHMÚ, ČÚZK, vlastní zpracování v softwaru ArcGis pomocí interpolační metody CoKriging.



Obr. 29: Přibližně 30centimetrová vrstva mokrého těžkého sněhu vytvářející sněhové čepice po silném sněžení v pražských Strašnicích (231 m n. m.) dne 24. 2. 2013. Zdroj: vlastní archiv.

5.3 Extremita vybraných událostí silného sněžení

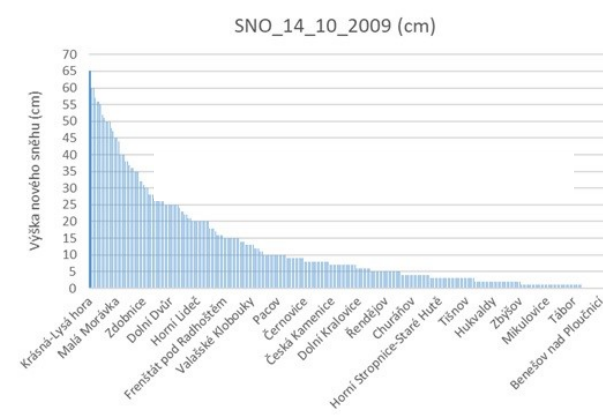
5.3.1 Extremita podle výšky nového sněhu SNO

Z dostupných staničních dat ČHMÚ a následně vytvořených map prostorové interpolace výšky nového sněhu a denního úhrnu srážek (viz podkapitolu 5.2), grafu deseti maximálních denních hodnot SNO během událostí silného sněžení (obr. 31) a z grafu denních hodnot SNO dne 14. 10. 2009 (obr. 30) vyplývá, že událost silného sněžení 13. - 14. 10. 2009 patří mezi nejextrémnější z hlediska nejvyšší dosažené výšky nového sněhu (tab. 9).

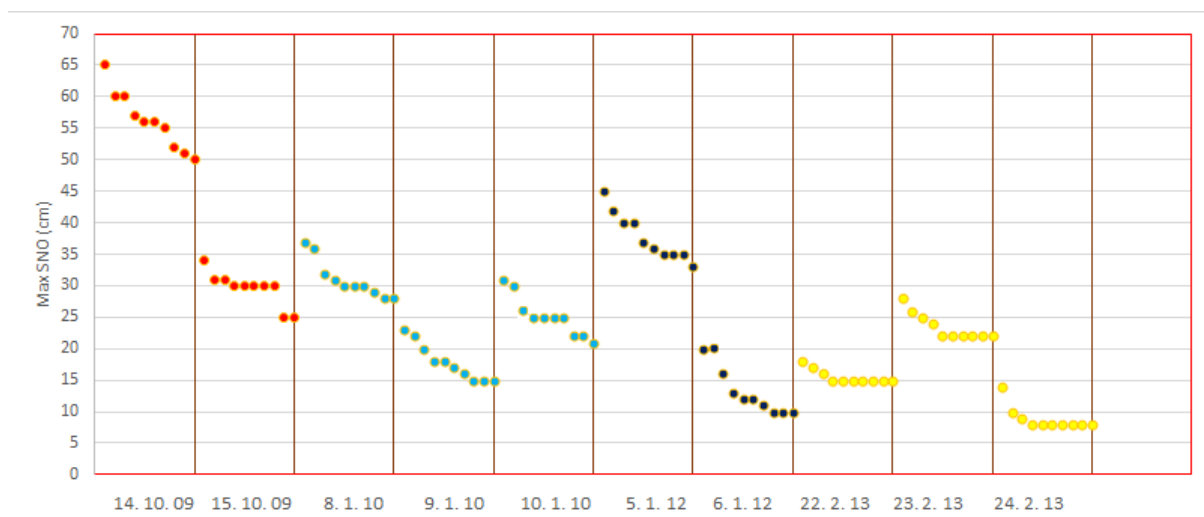
Hodnoty výšky nového sněhu dne 14. 10. 2009 přesáhly na řadě stanic nejen ve vyšších polohách, ale i středních polohách podhůří Jeseníků a Beskyd až 50 cm nového sněhu za 24 hodin (např. Lysá hora 65 cm, Staré Město pod Sněžníkem 60 cm, Velké Karlovice 55 cm, Čeladná 50 cm). Z příkladů výše uvedených lokalit je zřetelný výrazný návětrný efekt na severně orientovaných svazích masivu pohoří Beskyd a Jeseníků.

Tab. 9: Extremita jednotlivých událostí podle maximálních hodnot SNO:

Pořadí dle ukazatele	Událost silného sněžení	Max. SNO	Stanice, nadmořská výška
1	13. - 14. 10. 2009	65 cm	Lysá hora, 1323 m n. m.
2	5. - 6. 1. 2012	45 cm	Pec p. Sněžkou, 816 m n. m.
3	8. – 10. 1. 2010	37 cm	Luisino údolí, 875 m n. m.
4	22. – 24. 2. 2013	28 cm	Nedrahovice, 348 m n. m.



Obr. 30: Denní hodnoty SNO na meteorologických stanicích ČHMÚ dne 14. 10. 2009, pro přehlednost popsány jen vybrané stanice (data: ČHMÚ, vlastní zpracování)



Obr. 31: Maximální denní hodnoty SNO na meteorologických stanicích ČHMÚ během dnů s událostmi silného sněžení. Za každý den je znázorněno deset maxim (data: ČHMÚ, vlastní zpracování).

5.3.2 Extremita podle kritérií SIVS

Na základě rozlišení nadmořské výšky (600 m n. m.) a využití kritérií SIVS pro výstražné informace na sněhové jevy, byla na úrovni jednotlivých SO ORP zjišťována míra zasažení sněhovými jevy. Z výsledků v tab. 10, 11 vyplývá, že extremita sněžení podle kritérií SIVS byla nejvyšší při události silného sněžení 8. – 10. 1. 2010, což bylo způsobené celoplošným rozložením vydatných sněhových srážek a významným zasažením krajských měst v nižších polohách.

Tab. 10: Extremita jednotlivých událostí podle kritérií SIVS a zasažené plochy SO ORP:

Pořadí dle ukazatele	Událost silného sněžení	Zasažená plocha	Počet zasažených SO ORP < 600 m n. m.	Počet zasažených SO ORP > 600 m n. m.
1	8. – 10. 1. 2010	44 747,8 km ²	62	12
2	13. - 14. 10. 2009	26 220,2 km ²	10	33
3	22. – 24. 2. 2013	17 479,0 km ²	37	1
4	5. - 6. 1. 2012	10 682,5 km ²	2	18

Tab. 11: Extremita během dnů s událostmi silného sněžení podle kritérií SIVS a použitých vah (v závorce). Uvedena je i zasažená plocha SO ORP:

	Nízká intenzita jevu (váha 1) rozloha (počet zasažených SO ORP)	Vysoká intenzita jevu (váha 2) rozloha (počet zasažených SO ORP)	Extrémní intenzita jevu (váha 3) rozloha (počet zasažených SO ORP)	Zasažená plocha SO ORP
13. 10. 2009 (<600 m n. m.)	553,8 km ² (1)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	553,8 km ²
13. 10. 2009 (>600 m n. m.)	2771,6 km ² (11)	6626,4 km ² (8)	6600,1 km ² (5)	16198,1 km ²
14. 10. 2009 (<600 m n. m.)	4528,6 km ² (8)	754,6 km ² (1)	0 km ² (0)	5283,2 km ²
14. 10. 2009 (>600 m n. m.)	4185,1 km ² (12)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	4185,1 km ²

8. 1. 2010 (<600 m n. m.)	18192 km ² (51)	6412,5 km ² (7)	0 km ² (0)	24604,5 km²
8. 1. 2010 (>600 m n. m.)	4386 km ² (12)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	4386 km²
9. 1. 2010 (<600 m n. m.)	2236,9 km ² (4)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	2236,9 km²
9. 1. 2010 (>600 m n. m.)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	0 km² (0)
10. 1. 2010 (<600 m n. m.)	8884,0 km ² (21)	3156,4 km ² (4)	0 km ² (0)	12040,4 km²
10. 1. 2010 (>600 m n. m.)	1480,0 km ² (3)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	1480,0 km²
5. 1. 2012 (<600 m n. m.)	558,5 km ² (2)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	558,5 km²
5. 1. 2012 (>600 m n. m.)	6204,7 km ² (12)	3919,2 km ² (4)	0 km ² (0)	10123,9 km²
6. 1. 2012 (<600 m n. m.)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	0 km²
6. 1. 2012 (>600 m n. m.)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	0 km²
22. 2. 2013 (<600 m n. m.)	834,5 km ² (3)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	834,5 km²
22. 2. 2013 (>600 m n. m.)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	0 km²
23. 2. 2013 (<600 m n. m.)	13793,6 km ² (32)	2518,5 km ² (2)	0 km ² (0)	16312,1 km²
23. 2. 2013 (>600 m n. m.)	332,4 km ² (1)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	332,4 km²
24. 2. 2013 (<600 m n. m.)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	0 km²
24. 2. 2013 (>600 m n. m.)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	0 km ² (0)	0 km²

5.3.2.1 Úspěšnost výstrahy SIVS ČHMÚ při událostech silného sněžení

Druhá část výsledků byla věnovaná hodnocení úspěšnosti výstrah u epizod silného sněžení podle Systému integrované výstražné služby Českého hydrometeorologického ústavu. Spočívala v porovnání prostorové informace o maximální výšce nového sněhu v daném SO ORP a naplnění stanoveného kritéria podle vydané výstražné informace pro dané SO ORP. Z tab. 12 vyplývá, že nejlepšího výsledku dosáhla s celkovou úspěšností výstrahy až 66 % lednová událost v roce 2010, která zasáhla nižší polohy. Nejhoršího výsledku jen 45 % dosáhla celková úspěšnost výstrahy při únorové události silného sněžení v roce 2013.

Mapy s vydanými výstrahami ČHMÚ pro jednotlivé události silného sněžení jsou vloženy až na konci bakalářské práce v přílohách (viz Přílohy 11, 12, 13, 14).

Tab. 12: Celková úspěšnost výstrah u událostí silného sněžení stanovena na základě vztahu: $p = (ANO\ a + ANO\ c) / (ANO\ a + NE\ b + ANO\ c + NE\ d)$:

Kategorie	Výstrahy na sněhové jevy (viz Přílohu 11)	Pozorovaný výskyt sněhového jevu (alespoň 1 v SO ORP)	Událost silného sněžení 13. 10. – 14. 10. 2009 – všechny SO ORP Česka (206) (bez rozlišení nadmořské výšky)	Událost silného sněžení 13. 10. – 14. 10. 2009 – vybrané SO ORP Česka (100) (< 600 m n. m.)
ANO a	NE	NE	33	28
NE b	ANO	NE	78	55
ANO c	ANO	ANO	91	17
NE d	NE	ANO	4	0
Celková úspěšnost výstrahy (p)			60 %	45 %

Kategorie	Výstrahy na sněhové jevy (viz Přílohu 12)	Pozorovaný výskyt sněhového jevu (alespoň 1 v SO ORP)	Událost silného sněžení 8. 1. – 10. 1. 2010 – všechny SO ORP Česka (206) (bez rozlišení nadmořské výšky)	Událost silného sněžení 8. 1. – 10. 1. 2010 – vybrané SO ORP Česka (100) (< 600 m n. m.)
ANO a	NE	NE	0	0
NE b	ANO	NE	92	34
ANO c	ANO	ANO	114	66
NE d	NE	ANO	0	0
Celková úspěšnost výstrahy (p)			55 %	66 %

Kategorie	Výstrahy na sněhové jevy (viz Přílohu 13)	Pozorovaný výskyt sněhového jevu (alespoň 1 v SO ORP)	Událost silného sněžení 5. 1. – 6. 1. 2012 – všechny SO ORP Česka (206) (bez rozlišení nadmořské výšky)	Událost silného sněžení 5. 1. – 6. 1. 2012 – vybrané SO ORP Česka (100) (< 600 m n. m.)
ANO a	NE	NE	100	NEHODNOCENO
NE b	ANO	NE	86	NEHODNOCENO
ANO c	ANO	ANO	20	NEHODNOCENO
NE d	NE	ANO	0	NEHODNOCENO
Celková úspěšnost výstrahy (p)			58 %	NEHODNOCENO

Kategorie	Výstrahy na sněhové jevy (viz Přílohu 14)	Pozorovaný výskyt sněhového jevu (alespoň 1 v SO ORP)	Událost silného sněžení 22. 2. – 24. 2. 2013 – všechny SO ORP Česka (206) (bez rozlišení nadmořské výšky)	Událost silného sněžení 22. 2. – 24. 2. 2013 – vybrané SO ORP Česka (100) (< 600 m n. m.)
ANO a	NE	NE	5	0
NE b	ANO	NE	97	48
ANO c	ANO	ANO	87	45
NE d	NE	ANO	17	7
Celková úspěšnost výstrahy (p)			45 %	45 %

(upraveno podle Valachová, 2009)

5.3.3 Extremita podle regionálního indexu sněžení RSI*

Z výsledků hodnocení extremity událostí podle regionálního indexu sněžení RSI* (viz tab. 13) vychází, že nejextrémnější událostí spadající do kategorie 3 (závažná) byla lednová událost silného sněžení v roce 2010 s hodnotou RSI* indexu 7,57. Na prvním místě skončila díky vysokému počtu zasažených obyvatel ve velkých krajských městech (včetně Prahy), ale i rozsáhlé zasažené ploše. Naopak událost silného sněžení v lednu roku 2012 se propadla až na 4. místo, což bylo ovlivněné prostorovou omezeností intenzivního sněžení na pohraniční pohoří Česka, kde žije méně obyvatel a extremita sněžení představuje menší riziko pro obyvatelstvo než v případě lednové události roku 2010.

Nutno podotknout a připomenout (viz podkapitolu 5.1.4), že metodika aplikovaná k výpočtu regionálního indexu sněžení RSI* se oproti metodice používané u RSI v

USA částečně liší, a to zejména u průměrných hodnot vstupujících do výpočtu indexu RSI*, které jsou nahrazeny maximy.

Tab. 13: Extremita jednotlivých událostí podle regionálního indexu sněžení RSI:*

Pořadí dle ukazatele	Událost silného sněžení	Kategorie	RSI* index	Popis kategorie
1	8. – 10. 1. 2010	3	7,57	Závažná
2	13. - 14. 10. 2009	2	5,54	Významná
3	22. – 24. 2. 2013	2	4,55	Významná
4	5. - 6. 1. 2012	0	0,82	Nepříjemná

6 Shrnutí výsledků a jejich diskuse

Bakalářská práce se zabývá identifikací, analýzou a kvantitativním hodnocením extremity vybraných epizod silného sněžení v období mezi lety 2009 až 2013 na území Česka. Metodika práce je založena na rešerši české a zahraniční literatury zabývající se nejen problematikou hodnocení extremity silného sněžení, ale i extrémních meteorologických jevů. Vybrané kvantitativní metody použitelné k hodnocení extremity silného sněžení jsou následně aplikované na čtyři vybrané události, které odlišnou mírou zasažení ovlivnily nižší, střední a vyšší polohy Česka.

Z výsledků hodnocení extremity jednotlivých událostí silného sněžení podle různých indexů vyplývá rozdílnost výsledků v hodnocení extremity u stejné události v závislosti na použitém hodnotícím indexu (tab. 14). Největší rozdílnost ve výsledcích byla zaznamenána při porovnání extremity mezi nejvyšší denní dosaženou výškou nového sněhu SNO a extremitou podle Regionálního indexu sněžení RSI*. Důvodem rozdílnosti je skutečnost, že extrimita podle SNO poskytuje pouze kvantitativní informaci o bodové extremitě (bodově naměřené maximální hodnotě na konkrétní meteorologické stanici během události), ale neodráží žádnou informaci o extremitě z hlediska počtu zasažených obyvatel či rozlohy zasaženého území událostí silného sněžení. V českém prostředí lze extremitu podle SNO považovat za doposud jediný způsob, který se používá a slouží k hodnocení extremity u intenzivního sněžení v rámci meteorologické služby ČHMÚ. V případě Regionálního indexu sněžení RSI* je snaha kvantifikovat dopady silného sněžení ve vztahu k zasažené populaci a zasaženému území v regionálním měřítku (Squires et al., 2014). Index lze použít pro přehledné zařazení extremity epizod silného sněžení v historickém pohledu, a navíc komponenta plochy zasažení umožňuje vědcům zkoumat budoucí trend a variabilitu významných událostí silného sněžení (Kunkel et al., 2013; Lawrimore et al., 2014). Výhodou je bezesporu vyjádření plošné extremity epizody silného sněžení ve vztahu k počtům zasažených obyvatel. Problematika metodiky spočívá v úvaze rovnoměrného prostorového rozložení obyvatelstva u územní jednotky SO ORP, což v realitě nemůže přímo nastat (obyvatelstvo je značně prostorově heterogenní než homogenní).

Tab. 14: Analýza a shrnutí rozdílné extremity vybraných událostí silného sněžení v závislosti na použitém indexu:

Událost silného sněžení	Extremita podle SNO	Extremita podle kritérií SIVS	Extremita podle RSI*
13. - 14. 10. 2009	1)	2)	2)
8. – 10. 1. 2010	3)	1)	1)
5. - 6. 1. 2012	2)	4)	4)
22. – 24. 2. 2013	4)	3)	3)

Nejmarkantněji je patrná rozdílnost extremity u události silného sněžení 13. - 14. 10. 2009. Zatímco při hodnocení extremity podle SNO dosáhla významně nad ostatními epizodami 1. místa s maximální hodnotou SNO 65 cm na Lysé hoře v Beskydech. Hodnota 65 cm zaznamenaná na Lysé hoře je zároveň nejvyšší a nejextrémnější říjnovou hodnotou SNO od počátků měření roku 1897, a poukazuje na významnou bodovou extremitu. V případě hodnocení podle kritérií SIVS a Regionálního indexu sněžení RSI* se událost dostala na 2. místo. Důvodem bylo zasažení pouze středních a vyšších poloh vlivem vyšších teplot vzduchu nad bodem mrazu v nižších polohách, kde docházelo k vypadávání převážně dešťových srážek. Navíc počet zasažených obyvatel je v těchto polohách podstatně nižší než v případě zasažení nížin, což mělo klíčový vliv na výsledek u RSI*. Při posuzování extremity události podle kritérií SIVS s celkovou plochou zasažených SO ORP 26 220 km² se jedná o událost, která postihla jen třetinu území Česka. Rozloha zasažených SO ORP intenzivním sněžením je v tomto případě o necelou polovinu nižší než v případě lednové události silného sněžení 8. - 10. 1. 2010, kdy rozloha činila 44 747,8 km², což způsobil vliv celoplošného sněžení, a na většině území Česka zaznamenaného alespoň jednoho ledového dne ($T_{\max} < 0\text{ °C}$), díky tomu lednová událost dosáhla umístění 1. místa z hlediska extremity podle kritérií SIVS.

V případě lednové události v roce 2010 je zaznamenán při hodnocení extremity podle SNO propad až na 3. místo s maximální hodnotou SNO pouze 37 cm v Luisině údolí v Orlických horách. Vlivem celoplošného zasažení trvalým a vydatným sněžením, zejména v Čechách, a zasažením velkých krajských a okresních měst v nižších polohách, kde se významně koncentruje obyvatelstvo Česka (např. Praha, Pardubice,

České Budějovice apod.) došlo k významné extremitě z pohledu Regionálního indexu sněžení RSI*, který s hodnotou RSI* indexu 7,57 hodnotí událost silného sněžení kategorií 3 (závažná). Pro srovnání se Spojenými státy americkými, kde kategorie 3 dosáhne jen přibližně 5 % událostí silného sněžení (viz Podkapitolu 4.4). Naopak u lednové události silného sněžení v roce 2012, která postihla zejména vyšší a horské polohy pohraničních pohoří byla zaznamenaná hodnota RSI* indexu jen 0,82 (kategorie 0 – nepříjemná).

Zajímavé výsledky přináší část práce věnována celkovému vyhodnocení úspěšnosti výstrah SIVS ČHMÚ na sněhové jevy u dílčích událostí silného sněžení na úrovni SO ORP. Za horší výsledek u některých událostí mohla řada faktorů. Zejména obtížná je predikce oblasti zasažené pásmem intenzivního sněžení, kdy při postupu středomořské tlakové níže ze Středomoří závisí na poloze zvlněného frontálního rozhraní oddělující teplý a studený sektor, což představuje komplikace pro územní platnost výstrahy. Významně se projevuje obtížnost předpovědi zvlněného frontálního rozhraní v případě únorové události silného sněžení v roce 2013, kdy oproti původním předpokladům výstrahy pás silného sněžení přecházel přes Čechy západněji, a ovlivnil oblast Plzeňského a Karlovarského kraje, kde výstraha na sněhové jevy nebyla vydána, což se významně projevilo i na její celkové úspěšnosti jen 45 %.

Na rozdílnost výsledků extremity podle různých indexů má vliv řada negativních faktorů plynoucích z reprezentativnosti dat v použité metodice, zejména se jedná o nedostatek delších časových datových řad klimatického prvku SNO. Delší datové řady jsou nezbytné nejen pro získání reálnějšího průměru v případě komponent zasažené plochy a zasaženého obyvatelstva u indexu RSI* (nelze vytvářet pouze na základě 4 událostí silného sněžení), ale i k výpočtu indexu extremity počasí WEI u případů silného sněžení. Určitý vliv to má i na zvolené prahové hodnoty u indexu RSI*, které byly zvoleny na základě stanovených kritérií SNO u sněhových jevů v rámci SIVS ČHMÚ, a nikoliv na základě delších časových klimatologických řad SNO. Nicméně řada použitých nástrojů k hodnocení extremity událostí silného sněžení vykazuje poměrně slibné výsledky, které lze rozvést v dalším výzkumu.

7 Závěr

Předkládaná práce se zabývá hodnocením extremity událostí silného sněžení na území Česka mezi lety 2009 až 2013. Nabízí rešerši české a zahraniční literatury věnující se představení nástrojů použitelných k hodnocení extremity událostí silného sněžení, ale i zpracované seznamy vybraných význačných epizod silného sněžení na území Česka, které byly sestaveny na základě výrazných interdiurních změn ve výšce nového sněhu a výšce celkové sněhové pokrývky. Vybrané události se navíc významně liší z hlediska míry zasažení nižších, středních a vyšších poloh Česka. Ke každé epizodě silného sněžení byla zpracována analýza synoptické situace doplněna podrobnějšími synoptickými mapami a dalšími nástroji. Na základě dat výšky nového sněhu a denního úhrnu srážek ze 773 meteorologických stanic sítě ČHMÚ byla vytvořena série map prostorové interpolace zaměřena na plošné rozložení výšky nového sněhu a denního úhrnu srážek. Získaná prostorová data posloužila pro další analýzu k hodnocení extremity konkrétních událostí silného sněžení na základě nástrojů sestavených v rešeršní části práce.

Samotná zkoumaná problematika hodnocení extremity silného sněžení přinesla řadu zajímavých zjištění a nástrojů, které by bylo možné dále hlouběji aplikovat. Bohužel nedostatek delších datových řad meteorologických prvků (výška nového sněhu, výška celkové sněhové pokrývky) neumožnil jejich další aplikaci nebo pouze částečnou v případě Regionálního indexu sněžení RSI*. I přes tento částečně překonaný problém byla hodnocena extremita událostí silného sněžení pouze pomocí tří nástrojů (výška nového sněhu, Systém integrované výstražné služby ČHMÚ a Regionálního indexu sněžení RSI*). Index extremity počasí (WEI) uvedený v rešeršní části práce nemohl být kvůli výše uvedenému nedostatku aplikován, neboť vyžaduje delší datové řady pro zjištění doby opakování na stanicích. Poměrně kvalitní výsledky o extremitě dané události přinesl Regionální index sněžení RSI*, který v porovnání s indexem extremity počasí (WEI) hodnotí extremitu události podle počtu zasažených obyvatel v zasažené ploše vymezené prahovými hodnotami výšky nového sněhu.

Závěrem je třeba uvést zjištění, že z výsledků hodnocení extremity jednotlivých událostí silného sněžení podle různých indexů vyplývá rozdílnost výsledků v hodnocení extremity u stejné události v závislosti na použitém hodnotícím indexu. Problematika hodnocení extremity událostí silného sněžení, tak nabízí prostor k dalšímu potenciálnímu výzkumu za předpokladů volné dostupnosti delších datových řad meteorologických prvků.

Použité zdroje literatury

BÍNA, J., DEMEK, J. (2012): Z nížin do hor: geomorfologické jednotky České republiky. Academia, Praha. ISBN: 978-80-200-2026-0.

BRÁZDIL, R. (1978): Stupeň nerovnoměrnosti ročního chodu srážek. Sborník Československé společnosti zeměpisné, r. 83, č. 2, s. 91–103.

CERVENY, R. S., BESSEMOULIN, P., BURT, C. C., COOPER, M. A., CUNJIE, Z., DEWAN, A., FINCH, J., HOLLE, R. L., KALKSTEIN, L., KRUGER, A., LEE, T. C., MARTÍNEZ, R., MOHAPATRA, M., PATTANAIK, D. R., PETERSON, T. C., SHERIDAN, S., TREWIN, B., TAIT, A., ABDEL WAHAB, M. M. (2017): WMO assessment of weather and climate mortality extremes: Lightning, tropical cyclones, tornadoes, and hail. *Weather, Climate, and Society*, 3, 9, 487–497.

ČHMÚ (2014): MĚŘENÍ A HODNOCENÍ ATMOSFÉRY A HYDROSFÉRY. Český hydrometeorologický ústav, Praha. 1. vydání, 40 s. ISBN 978-80-87577-28-8

DEWALLE, D. R., RANGO, A. (2008): Principles of snow hydrology. Cambridge University Press, Cambridge, 410 s.

ERXLEBEN, J., ELDER, K., DAVIS, R. (2002): Comparison of spatial interpolation methods for estimating snow distribution in the Colorado Rocky Mountains. *Hydrological Processes*, 18, 16, 3627–3649.

FUJITA, T. T. (1971): Proposed Characterization of Tornadoes and Hurricanes by Area and Intensity". *Satellite and Mesometeorology Research Paper 91*. Chicago, IL: Department of Geophysical Sciences, University of Chicago.

GUNN, K. L. S., MARSHALL, J. S. (1958): The distribution with size aggregate snowflakes. *Journal Meteorology*, 15, 452–461.

HALL, D. K., KELLY, R. E., FOSTER, J. L., CHANG, A.T. (2006): Estimation of Snow Extent and Snow Properties. In *Encyclopedia of Hydrological Sciences* (eds M.G. Anderson and J.J. McDonnell). doi:[10.1002/0470848944.hsa062](https://doi.org/10.1002/0470848944.hsa062)

HOFSTÄTTER, M., BLÖSCHL, G. (2019): Vb Cyclones Synchronized With the Arctic-/North Atlantic Oscillation. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 6, 124, 3259–3278.

HRUŠKOVÁ, K. (2006): Modelování odtoku z tajícího sněhu v povodí horního Hronu. Disertační práce. PřF MU, Brno, 106 s.

HÜSLER, F., JONAS, T., RIFFLER, M., MUSIAL, J. P., WUNDERLE, S. (2014): A satellite-based snow cover climatology (1985-2011) for the European Alps derived from AVHRR data. *Cryosphere*, 1, 8, 73–90.

HYNČICA, M., HUTH, R. (2019): Long-term changes in precipitation phase in Czechia. *Geografie*, 124, 1, 41–55.

CHOW, V. T., MAIDMENT, D. R., MAYS, L. W. (1988): *Applied Hydrology*. International Edition, McGraw-Hill Book. Co. Singapore, 572 s.

JANKOVÁ, J. (2009): Vliv způsobu odvození plošné srážky na simulaci odtoku z povodí. Diplomová práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie. PřF UK, Praha, 86 s.

JENÍČEK, M. (2009): Modelování průběhu extrémních povodní v kontextu krajinných změn a integrované protipovodňové ochrany. Disertační práce. Katedra fyzické geografie a geoekologie. PřF UK, Praha, 141 s.

JOHNSON, J. B., SCHAEFER, G. L. (2002): The influence of thermal, hydrologic and snow deformation mechanisms on snow water equivalent pressure sensor accuracy. *Hydrological Processes*, 16, 3529–3542.

JUŘIKOVSKÁ, L. (2010): Interpolace dešťových srážek v horských povodích. Disertační práce. Institut geoinformatiky. VŠBTUO, Ostrava, 109 s.

KAŠPAR, M., MÜLLER, M., CRHOVÁ, L., HOLTANOVÁ, E., POLÁŠEK, J. F., POP, L., VALERIÁNOVÁ, A. (2017): Relationship between Czech windstorms and air temperature. *International Journal of Climatology*, 1, 37, 11–24.

KOCIN, P. J., UCCELLINI, L. W. (2004): A snowfall impact scale derived from Northeast storm snowfall distributions. *Bulletin of American Meteorological Society*, 85, 2, 177–194.

KUNKEL, K. E., KARL, T. R., BROOKS, H., KOSSIN, J., LAWRYMORE, J. H., ARNDT, D., BOSART, L., CHANGNON, D., CUTTER, S. L., DOESKEN, N., EMANUEL, K., GROISMAN, P. Y., KATZ, R. W., KNUTSON, T., O'BRIEN, J., PACIOREK, C. J., PETERSON, T. C., REDMOND, K., ROBINSON, D., TRAPP, J., VOSE, R., WEAVER, S., WEHNER, M., WOLTER, K., WUEBBLES, D. (2013): Monitoring and understanding trends in extreme storms: State of knowledge. Bulletin of the American Meteorological Society, 4, 94, 499–514.

KVĚTOŇ, V., ŽÁK, M. (2011): Vliv středomořských tlakových níží na kalamitní sněžení v České republice. Meteorologické zprávy, 64, č. 5, s. 129–136.

LAWRYMORE, J., KARL, T. R., SQUIRES, M., ROBINSON, D. A., KUNKEL, K. E. (2014): Trends and variability in severe snowstorms east of the rocky mountains. Journal of Hydrometeorology, 5, 15, 1762–1777.

MARKOWSKI, P., RICHARDSON, Y. (2010): Mesoscale meteorology in midlatitudes. Wiley-Blackwell, 414 s.

MARSHALL, J. S., PALMER, W. M. (1948): The distribution of raindrops with size. Journal Meteorology, 5, 165–166.

MASON, B. J. (1971): The physics of clouds, 2. vydání. Clarendon press, Oxford, 671 s.

MEIER, M. F. (1979): Remote sensing of snow and ice. Hydrological Sciences-Bulletin-dés Sciences Hydrologiques, 25, 3, 307–330.

MÜLLER, M., KAŠPAR, M. (2014): Event-adjusted evaluation of weather and climate extremes. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2, 14, 473–483.

MÜLLER, M., KAŠPAR, M., VALERIÁNOVÁ, A., CRHOVÁ, L., HOLTANOVÁ, E. (2015): Evaluation of precipitation extremes and floods and comparison between their temporal distributions. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 1, 12, 281–310.

MÜLLER, M. (2016): Blizardy a sněhové bouře. Geografické rozhledy, 25, č. 4, s. 2–3.

NALDER, I. A., WEIN, R. W. (1998): Spatial interpolation of climatic Normals: test of a new method in the Canadian boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 92, 211–225.

RANGO, A. (1986): Progress in Snow Hydrology Remote-Sensing Research. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*. 24. 47–53.

ROŽNOVSKÝ, J., ZAHRADNÍČEK, P., ŠTĚPÁNEK, P., FARDA, A., BRZEZINA, J. (2016): Výskyt sněhové pokrývky a doprava. In: VII. Česko-slovenská konference, Doprava, zdraví a životní prostředí [online]. Brno: C.D.V., 2016, s. 70–78 [cit. 2020-05-11]. Dostupné

z: https://www.researchgate.net/profile/Hana_Bruhova_Foltynova/publication/332380651_Inovativni_nastroje_udrzelne_mobility_v_evropskych_mestskych_oblastech_zkusenosti_s_evaluaci_a_role_politickych_barier/links/5cb0f632299bf12097624267/Inovativni-nastroje-udrzelne-mobility-v-evropskych-mestskych-oblastech-zkusenosti-s-evaluaci-a-role-politickych-barier.pdf#page=70

ŘEZÁČOVÁ, D., NOVÁK, P., KAŠPAR, M., SETVÁK, M. (2007): Fyzika oblaků a srážek. Academia, Praha. 574 s.

SORTEBERG, H. K., ENGESET, R. V., UDNAES, H. C. (2001): A national network for snow monitoring in Norway: snow pillow verification using observations and models. *Physics and Chemistry of the Earth, Part C: Solar, Terrestrial and Planetary Science*: 723–729

SQUIRES, M. F., LAWRIEMORE, J. H., HEIM, R. R., ROBINSON, D. A., GERBUSH, M. R., ESTILOW, T. W. (2014): The regional snowfall index. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 12, 95, 1835–1848.

STEPHENSON, D. B. (2008): Definition, diagnosis, and origin of extreme weather and climate events, in: *Climate extremes and society*, edited by: Diaz, H. F. and Murnane, R. J., Cambridge University Press, New York, 11–23, doi:10.1017/CBO9780511535840.004.

ŠPULÁK, O., J. SOUČEK, V. ČERNOHOUS (2012): Pozemní metody a technologie měření vodní hodnoty sněhu. *Zprávy Lesnického Výzkumu*. r. 57, č. 4, 304–313.

TOLASZ, R. et al. (2007): Atlas podnebí Česka. ČHMÚ a UP Olomouc, Praha, 256 s.

VALACHOVÁ, M. (2009): Bouřka jako nebezpečný atmosférický jev a možnosti její předpovědi. Diplomová práce. Katedra meteorologie a ochrany prostředí MFF UK, Praha, 113 s.

VALERIÁNOVÁ, A., CRHOVÁ, L., HOLTANOVÁ, E., KAŠPAR, M., MÜLLER, M., PECHO, J. (2017): High temperature extremes in the Czech Republic 1961–2010 and their synoptic variants. *Theoretical and Applied Climatology*, 1–2, 127, 17–29.

VYSOUDIL, M. (2004): Meteorologie a klimatologie. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 281 s. ISBN 80-244-0875-9.

ŽÍDEK, D., LIPINA, P. (2003): Návod pro pozorovatele meteorologických stanic [online]. Ostrava, [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/8363579-Navod-propozorovatele-meteorologickych-panic-chmu.html>

Použité internetové zdroje

ArcČR® 500, [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.arccdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-500>

Atmospheric soundings [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

Blitzortung archive [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: http://cs.blitzortung.org/archive_data.php?map=10

Česká meteorologická společnost [online]: Elektronický meteorologický slovník výkladový a terminologický (eMS) [cit 15.05.2020]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz>

Český hydrometeorologický ústav, data ze stanic sítě RBCN [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/data-ze-panic-site-RBCN>

Český hydrometeorologický ústav, SIVS ČHMÚ [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/informace-pro-vas/prezentace-a-vyuka/SIVS>

Český hydrometeorologický ústav, stanice ČHMÚ [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/poboc/OS/panicce/ShowStations_CZ.html

Český statistický úřad, Území a podnebí 2005 [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/10n1-05-2005-uzemi-a-podnebi-metodika>

Český statistický úřad, Sčítání lidu, domů a bytů 2011 [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/scitani-lidu-domu-a-bytu-2011>

Frei Universität Berlin, Institut für Meteorologie, wetterpate archiv [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <http://www.met.fu-berlin.de/wetterpate/archiv/>

Idnes.cz, zprávy, domácí, sněhová kalamita [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/snehova-kalamita-ochromila-dopravu-odrizla-desetitisice-lidi-od-elektřiny.A091015_072050_domaci_taj

Idnes.cz, zprávy, domácí, sněhová kalamita [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/zpravy/domaci/snehova-kalamita-ma-v-cesku-prvni-obet-kamiony-zablokovaly-dalnici-d1.A100108_065453_domaci_lpo

Počasí, meteoaktuality, níže Xavier 2009 [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://pocasimeteoaktuality.wordpress.com/extremni-pocasi/vyznamne-cyklony/nize-xavier-2009/>

Počasí, meteoaktuality, níže Daisy 2010 [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://pocasimeteoaktuality.wordpress.com/extremni-pocasi/vyznamne-cyklony/nize-daisy-2010/>

Počasí, meteoaktuality, níže Andrea 2012 [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://pocasimeteoaktuality.wordpress.com/extremni-pocasi/vyznamne-cyklony/nize-andrea-2012/>

Meteoalarm, o Meteoalarmu [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: http://www.meteoalarm.eu/about.php?lang=ce_CZ

NOAA, snow and ice RSI [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <https://www.ncdc.noaa.gov/snow-and-ice/rsi/>

Slovenský hydrometeorologický ústav (SHMÚ) [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: <http://www.shmu.sk/sk/?page=2049&id=586%%>

Wetter3.de, archiv GFS [online]. [cit. 2020-05-11]. Dostupné z: http://www1.wetter3.de/archiv_gfs_dt.html

Seznam obrázků

Obr. 1: Typy ledových krystalů podle mezinárodní klasifikace tuhých srážek.....	11
Obr. 2: Velké sněhové vločky při silném sněžení v Bratislavě.....	12
Obr. 3: Gunn-Marshallovo exponenciální rozdělení velikostí sněhových vloček k intenzitě sněhových srážek.....	13
Obr. 4: Stanice monitorující výšku celkové sněhové pokrývky a výšku nového sněhu.....	16
Obr. 5: Vliv orografie na formování sněhových srážek.....	19
Obr. 6: Průměr sezónních úhrnů výšky nového sněhu v Česku.....	21
Obr. 7: Změny v hodnotách E_{ta}	30
Obr. 8: Přízemní analýza zachycující pobřežní frontu.....	31
Obr. 9: Klimatické regiony USA.....	33
Obr. 10: Poloha vstupních meteorologických stanic.....	34
Obr. 11: Ukázka mapy plošné interpolace výšky nového sněhu vytvořené interpolační metodou vážené inverzní vzdálenosti.....	37
Obr. 12: Pseudopotenciální teplota v hladině 850 hPa a přízemní tlakové pole, geopotenciál hladiny 850 hPa a teplota vzduchu v hladině 850 hPa ve dnech 13. a 14. 10. 2009.....	42
Obr. 13: Prostorové rozložení výšky nového sněhu a denního úhrnu srážek ve dnech 13. 10. 2009 a 14. 10. 2009.....	43
Obr. 14: Silné sněžení v Jablonci nad Nisou dne 14. 10. 2009.....	44
Obr. 15: Přízemní tlakové pole (hPa) dne 6. 1. 2010 12 UTC.....	44
Obr. 16: Pseudopotenciální teplota v hladině 850 hPa a přízemní tlakové pole, geopotenciál hladiny 850 hPa a teplota vzduchu v hladině 850 hPa ve dnech 8., 9., a 10. 1. 2010.....	45
Obr. 17: Prostorové rozložení výšky nového sněhu a denního úhrnu srážek ve dnech 8., 9. a 10. 1. 2010.....	46

Obr. 18: Stüveho diagramy z termínu 9. 1. 2010 12 UTC, Praha-Libuš a Prostějov.....	47
Obr. 19: 30 centimetrová vrstva prachového sněhu po silném sněžení v pražských Strašnicích dne 10. 1. 2010.....	47
Obr. 20: Přízemní tlakové pole (hPa) dne 5. 1. 2012 12 UTC.....	48
Obr. 21: Pseudopotenciální teplota v hladině 850 hPa a přízemní tlakové pole, geopotenciál hladiny 850 hPa a teplota vzduchu v hladině 850 hPa ve dnech 5. a 6. 1. 2012.....	49
Obr. 22: Prostorové rozložení výšky nového sněhu a denního úhrnu srážek ve dnech 5. a 6. 1. 2012.....	50
Obr. 23: Stüveho diagram 5. 1. 2012 18 UTC (Praha-Libuš).....	50
Obr. 24: Blesková aktivita nad Evropou z termínu 5. 1. 2012 18 UTC.....	51
Obr. 25: Sněhové závěje na Jizerce dne 26. 1. 2012.....	51
Obr. 26: Přízemní tlakové pole (hPa) dne 22. 2. 2013 12 UTC	52
Obr. 27: Pseudopotenciální teplota v hladině 850 hPa a přízemní tlakové pole, geopotenciál hladiny 850 hPa a teplota vzduchu v hladině 850 hPa ve dnech 22., 23., a 24. 2. 2013.....	52
Obr. 28: Prostorové rozložení výšky nového sněhu a denního úhrnu srážek ve dnech 22., 23. a 24. 2. 2013.....	54
Obr. 29: Přibližně 30centimetrová vrstva mokrého těžkého sněhu vytvářející sněhové čepice po silném sněžení v pražských Strašnicích dne 24. 2. 2013.....	55
Obr. 30: Denní hodnoty SNO na meteorologických stanicích ČHMÚ dne 14. 10. 2009.....	56
Obr. 31: Maximální denní hodnoty SNO na meteorologických stanicích ČHMÚ během dnů s událostmi silného sněžení.....	56

Seznam tabulek

Tab. 1: Rozdělení intenzity hodinových sněhových srážek v závislosti na dohlednosti.....	14
Tab. 2: Porovnání používaných spektrálních pásem pro monitoring sněhové pokrývky.....	17
Tab. 3: Sezónní úhrn výšky nového sněhu na stanicích podle nadmořské výšky a její změny v letech 1961-2000 a 2001-2016 na území Česka.....	22
Tab. 4: Nejvyšší staniční výšky nového sněhu (SNO) zaznamenané při jednotlivých povětrnostních situacích (synoptických typech) za období 1961 až 2010 v oblastech Krkonoš (tab. 4a), Ostravska (tab. 4b) a Šumavy (tab. 4c).....	24
Tab. 5: Kritéria SIVS pro vydávání výstražných informací na sněhové jevy.....	27
Tab. 6: Dílčí kategorie aplikované na vyhodnocení úspěšnosti výstražných informací.....	28
Tab. 7: Vztah mezi hrubým skóre RSI a kategoriemi RSI (používané v USA).....	33
Tab. 8: Kategorie SO ORP a použité váhy rozlišující stupně intenzity jevu k hodnocení extremity sněžení podle kritérií SIVS.....	40
Tab. 9: Extremita jednotlivých událostí podle maximálních hodnot SNO.....	56
Tab. 10: Extremita jednotlivých událostí podle kritérií SIVS a zasažené plochy SO ORP.....	57
Tab. 11: Extremita během dnů s událostmi silného sněžení podle kritérií SIVS a použitých vah.....	57
Tab.12: Celková úspěšnost výstrah u událostí silného sněžení.....	59
Tab.13: Extremita jednotlivých událostí podle regionálního indexu sněžení RSI*.....	61
Tab.14: Analýza a shrnutí rozdílné extremity vybraných událostí silného sněžení v závislosti na použitém indexu.....	63

Seznam příloh

Příloha 1: Maximální výšky nového sněhu za 13. 10. 2009.....	76
Příloha 2: Maximální výšky nového sněhu za 14. 10. 2009.....	76
Příloha 3: Maximální výšky nového sněhu za 8. 1. 2010.....	77
Příloha 4: Maximální výšky nového sněhu za 9. 1. 2010.....	77
Příloha 5: Maximální výšky nového sněhu za 10. 1. 2010.....	78
Příloha 6: Maximální výšky nového sněhu za 5. 1. 2012.....	79
Příloha 7: Maximální výšky nového sněhu za 6. 1. 2012.....	79
Příloha 8: Maximální výšky nového sněhu za 22. 2. 2013.....	80
Příloha 9: Maximální výšky nového sněhu za 23. 2. 2013.....	80
Příloha 10: Maximální výšky nového sněhu za 24. 2. 2013.....	81
Příloha 11: Vydané výstražné informace SIVS při události sněžení 13.10. – 14.10.2009.....	81
Příloha 12: Vydané výstražné informace SIVS při události sněžení 8.1. – 10.1.2010.....	82
Příloha 13: Vydané výstražné informace SIVS při události sněžení 5.1. – 6.1.2012.....	82
Příloha 14: Vydané výstražné informace SIVS při události sněžení 22.2. – 24.2.2013.....	83

Přílohy

Příloha 1: Maximální výšky nového sněhu na stanicích ČHMÚ za 13. 10. 2009. Zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování.

ID	Stanice	Kraj	Elevation (m n.m.)	SNO 14_10_2009 (cm)
O1LYSA01	<u>Krásná-Lysá hora</u>	Moravskoslezsky	1322	65
O1BILA01	<u>Bílá-Konečná</u>	Moravskoslezsky	720	60
O2STKU01	<u>Staré Město pod Sněžníkem</u>	Olomoucky	658	60
O3BENE01	<u>Velké Karlovice-Benešky</u>	Zlinsky	855	57
O3BECV01	<u>Horní Bečva</u>	Zlinsky	565	56
O1VIDL01	<u>Vrbno pod Pradědem-Vidly</u>	Moravskoslezsky	774	56
O3VEKA01	<u>Velké Karlovice</u>	Zlinsky	561	55
O1KAST01	<u>Karlova Studánka</u>	Moravskoslezsky	780	52
O2SKLE01	<u>Malá Morava</u>	Olomoucky	730	51
O1CELA01	<u>Čeladná</u>	Moravskoslezsky	510	50
O1VISA01	<u>Krásná-Visalaje</u>	Moravskoslezsky	805	50
H1LUCB01	<u>Luční bouda</u>	Kralovehradecky	1413	50

Příloha 2: Maximální výšky nového sněhu na stanicích ČHMÚ za 14. 10. 2009. Zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování.

ID	Stanice	Kraj	Elevation (m n.m.)	SNO 15_10_2009 (cm)
U2JANI01	<u>Jablonec nad Nisou</u>	Liberecky	495	34
U1PEKL01	<u>Petrovice</u>	Ustecky	631	31
O2PAPR01	<u>Staré Město pod Sněžníkem-Paprsek</u>	Olomoucky	1006	31
U2BEDR01	<u>Bedřichov</u>	Liberecky	777	30
H3KRUC01	<u>Krucemburk</u>	Vysocina	559	30
U1CEJI01	<u>Český Jiřetín</u>	Ustecky	740	30
H3VYSC01	<u>Vysočina</u>	Pardubicky	536	30
P3ONDR01	<u>Ondřejov</u>	Stredocesky	485	30

Příloha 3: Maximální výšky nového sněhu na stanicích ČHMÚ za 8. 1. 2010. Zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování.

ID	Stanice	Kraj	Latitude	Longitude	Elevation	SNO_08_01
H2LUIS01	<u>Luisino údolí</u>	Kralovehradecky	50	16	875	37
H2ORLZ01	<u>Orlické Záhoří</u>	Kralovehradecky	50	16	690	36
B2VIRP01	<u>Vír</u>	Vysocina	50	16	473	32
O1SVET01	<u>Světlá Hora</u>	Moravskoslezsky	50	17	593	31
H3LICO01	<u>Lipovec-Licoměřice</u>	Pardubicky	50	16	335	30
H2ZDOB01	<u>Zdobnice</u>	Kralovehradecky	50	16	671	30
H3SVRA01	<u>Svratouch</u>	Pardubicky	50	16	734	30
H3ZBYS01	<u>Zbýšov</u>	Stredocesky	50	15	490	29
O3KELC01	<u>Kelč</u>	Zlinsky	49	18	300	28
B2NAM001	<u>Náměšť nad Oslavou</u>	Vysocina	49	16	390	28
O1PASK01	<u>Paskov</u>	Moravskoslezsky	50	18	254	28
H3HRTY01	<u>Hrochův Týnec</u>	Pardubicky	50	16	242	28
H1TEPL01	<u>Teplice nad Metují</u>	Kralovehradecky	51	16	460	28
H3KONA01	<u>Konárovice</u>	Stredocesky	50	15	209	27
O1MAMO0	<u>Malá Morávka</u>	Moravskoslezsky	50	17	675	27
H2BELC01	<u>Běleč nad Orlicí</u>	Kralovehradecky	50	16	247	27
O1BUDI01	<u>Budišov nad Budišovkou</u>	Moravskoslezsky	50	18	530	26
O3MARU01	<u>Hošťálková-Marushka</u>	Zlinsky	49	18	664	26
H2BORH01	<u>Borohrádek</u>	Kralovehradecky	50	16	252	25
P3HAVL01	<u>Havlíkův Brod</u>	Vysocina	50	16	452	25

Příloha 4: Maximální výšky nového sněhu na stanicích ČHMÚ za 9. 1. 2010. Zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování.

ID	Stanice	Kraj	Latitude	Longitude	Elevation	SNO_09_01
H3SKUT01	<u>Skuteč</u>	Pardubicky	50	16	360	23
H3LIBA01	<u>Libáň</u>	Kralovehradecky	50	15	225	22
H3SLAT01	<u>Slatiny</u>	Kralovehradecky	50	15	254	20
H3GOLJ01	<u>Golčův Jeníkov</u>	Vysocina	50	15	375	18
O1HART01	<u>Bílčice-Slezská Harta</u>	Moravskoslezsky	50	18	521	18
C2SUCH01	<u>Suchdol nad Lužnicí</u>	Jihocesky	49	15	457	17
H1PECS01	<u>Pec pod Sněžkou</u>	Kralovehradecky	51	16	816	16
O1RAMZ01	<u>Ostružná</u>	Olomoucky	50	17	740	15
C2HLAS01	<u>Hlasivo</u>	Jihocesky	49	15	547	15
H3BOZN01	<u>Božanov</u>	Kralovehradecky	51	16	426	15
C1KTIS01	<u>Ktiš</u>	Jihocesky	49	14	758	15
C2LIPC01	<u>Jílovce-Lipnice</u>	Jihocesky	49	15	469	15
P3REND01	<u>Řendějov</u>	Stredocesky	50	15	450	14
C2NADV01	<u>Nadějkov</u>	Jihocesky	50	14	616	14
C2LEDE01	<u>Ledenice</u>	Jihocesky	49	15	485	14
C2KREM01	<u>Křemže</u>	Jihocesky	49	14	524	14
C1CDVU01	<u>Chvalšiny</u>	Jihocesky	49	14	588	14
C2BESE01	<u>Besednice</u>	Jihocesky	49	15	593	14
P1SLAP01	<u>Slapy</u>	Stredocesky	50	14	311	13
C2KLCE01	<u>Milešov-Klenovice</u>	Stredocesky	50	14	422	13
P2SEMC01	<u>Semčice</u>	Stredocesky	50	15	234	13
P3JILO01	<u>Jílové u Prahy</u>	Stredocesky	50	14	350	13

Příloha 5: Maximální výšky nového sněhu na stanicích ČHMÚ za 10. 1. 2010. Zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování.

ID	Stanice	Kraj	Latitude	Longitude	Elevation	SNO_10_01
O1DEHY01	<u>Děhylov</u>	Moravskoslezsky	50	18	292	31
H2SLAZ01	<u>Slatina nad Zdobnicí</u>	Kralovehradecky	50	16	401	30
H2RYCH01	<u>Rychnov nad Kněžnou</u>	Kralovehradecky	50	16	335	26
O1RAMZ01	<u>Ostružná</u>	Olomoucky	50	17	740	25
H3LITS01	<u>Litošice</u>	Pardubicky	50	16	270	25
H3PARD01	<u>Pardubice</u>	Pardubicky	50	16	224	25
H2ROKY01	<u>Rokytnice v Orlic.horách</u>	Kralovehradecky	50	16	577	25
H2BILU01	<u>Bílý Újezd</u>	Kralovehradecky	50	16	319	22
O1MIKU01	<u>Mikulovice</u>	Olomoucky	50	17	321	22
H3VMYT01	<u>Vysoké Mýto</u>	Pardubicky	50	16	278	21
P1SLAP01	<u>Slapy</u>	Stredocesky	50	14	311	20
O1VIDN01	<u>Vidnava</u>	Olomoucky	50	17	232	20
H2ORLZ01	<u>Orlické Záhoří</u>	Kralovehradecky	50	16	690	20
H3KONA01	<u>Konárovice</u>	Stredocesky	50	15	209	20
H3LICO01	<u>Lipovec-Licoměřice</u>	Pardubicky	50	16	335	20
P3HABR01	<u>Habry</u>	Vysocina	50	15	467	20
H2BORH01	<u>Borohrádek</u>	Kralovehradecky	50	16	252	20
H2DOBN01	<u>Dobřany</u>	Kralovehradecky	50	16	627	20
O2LOSI01	<u>Velké Losiny</u>	Olomoucky	50	17	411	20
H2ZAMB01	<u>Žamberk</u>	Pardubicky	50	16	405	20
H3GOLJ01	<u>Golčův Jeníkov</u>	Vysocina	50	15	375	19
H3BEST01	<u>Běstvina</u>	Pardubicky	50	16	333	19
O1JISL01	<u>Jindřichov</u>	Moravskoslezsky	50	18	358	19
O1MELC01	<u>Melč</u>	Moravskoslezsky	50	18	470	19

Příloha 6: Maximální výšky nového sněhu na stanicích ČHMÚ za 5. 1. 2012. Zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování.

ID	Stаницe	Kraj	Latitude	Longitude	Elevation	SNO_05_01
H1PECS01	<u>Pec pod Sněžkou</u>	Kralovehradecky	51	16	816	45
H1DDVU01	<u>Dolní Dvůr</u>	Kralovehradecky	51	16	570	42
P2BENE01	<u>Benecko</u>	Liberecky	51	16	780	40
O2DSDN01	<u>Loučná nad Desnou-Dlouhé Stráně</u>	Olomoucky	50	17	823	40
P2HARR01	<u>Harrachov</u>	Liberecky	51	15	706	37
H1CDUL01	<u>Černý Důl</u>	Kralovehradecky	51	16	715	36
P2DESN01	<u>Desná</u>	Liberecky	51	15	772	35
H2LUI01	<u>Luisino údolí</u>	Kralovehradecky	50	16	875	35
O3VASE01	<u>Valašská Senice</u>	Zlinsky	49	18	606	35
O1BELA01	<u>Bělá pod Pradědem</u>	Olomoucky	50	17	670	33
H1RYCH01	<u>Žacléř-Rýchorská bouda</u>	Kralovehradecky	51	16	1001	33
O1BILA01	<u>Bílá-Konečná</u>	Moravskoslezsky	49	19	720	32
O1RYMH01	<u>Rýmařov</u>	Moravskoslezsky	50	17	637	32
O1HOLO01	<u>Horní Lomná</u>	Moravskoslezsky	50	19	594	30
C1CHUR01	<u>Churáňov</u>	Jihocesky	49	14	1118	30
O2STKU01	<u>Staré Město pod Sněžníkem</u>	Olomoucky	50	17	658	30

Příloha 7: Maximální výšky nového sněhu na stanicích ČHMÚ za 6. 1. 2012. Zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování.

ID	Stаницe	Kraj	Latitude	Longitude	Elevation	SNO_06_01
P2BENE01	<u>Benecko</u>	Liberecky	51	16	780	20
H1LUCB01	<u>Luční bouda</u>	Kralovehradecky	51	16	1413	20
P2JDUL01	<u>Josefův Důl</u>	Liberecky	51	15	590	16
O1HOLO01	<u>Horní Lomná</u>	Moravskoslezsky	50	19	594	13
O1VISA01	<u>Krásná-Visalaje</u>	Moravskoslezsky	50	19	805	12
H1CIST01	<u>Čistá u Horek</u>	Kralovehradecky	51	16	445	12
H3LUBN01	<u>Lubná</u>	Pardubicky	50	16	560	11
O2DSDN01	<u>Loučná nad Desnou-Dlouhé Stráně</u>	Olomoucky	50	17	823	10
O1BILA01	<u>Bílá-Konečná</u>	Moravskoslezsky	49	19	720	10
O2STKU01	<u>Staré Město pod Sněžníkem</u>	Olomoucky	50	17	658	10
O1BILH01	<u>Bílá-Hlavatá</u>	Moravskoslezsky	49	18	770	10
O1LYSA01	<u>Krásná-Lysá hora</u>	Moravskoslezsky	50	18	1322	10
O2SKLE01	<u>Malá Morava</u>	Olomoucky	50	17	730	9
O2PAPR01	<u>Paprsék</u>	Olomoucky	50	17	1006	9
O1SANC01	<u>Ostravice-Šance</u>	Moravskoslezsky	50	18	509	9
H2LUI01	<u>Luisino údolí</u>	Kralovehradecky	50	16	875	8
O1VIDL01	<u>Vrbno pod Pradědem-Vidly</u>	Moravskoslezsky	50	17	774	8
O1RAMZ01	<u>Ostružná</u>	Olomoucky	50	17	740	8
H2ORLZ01	<u>Orlické Záhoří</u>	Kralovehradecky	50	16	690	8

Příloha 8: Maximální výšky nového sněhu na stanicích ČHMÚ za 22. 2. 2013. Zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování.

ID	Stanice	Kraj	Latitude	Longitude	Elevation	SNO_22_02
C1KTIS01	<u>Ktiš</u>	Jihocesky	49	14	758	18
B1CHKO01	<u>Kostelany</u>	Zlinsky	49	17	403	17
C1ZBYT01	<u>Zbytiny</u>	Jihocesky	49	14	792	16
C1PRAS01	<u>Prášily</u>	Plzensky	49	13	883	15
C1FRAN01	<u>Mičovice-Frantoly</u>	Jihocesky	49	14	692	15
C1PRCH01	<u>Prachatice</u>	Jihocesky	49	14	607	15
C1BAVO01	<u>Bavorov</u>	Jihocesky	49	14	442	15
C1CHEL01	<u>Chelčice</u>	Jihocesky	49	14	466	15
O1ODRY01	<u>Odry</u>	Moravskoslezsky	50	18	290	15
L3SEMN01	<u>Šemnice</u>	Karlovarsky	50	13	367	15
C1MARK01	<u>Křišťanov-Markov</u>	Jihocesky	49	14	951	14
O1SPAL01	<u>Spálov</u>	Moravskoslezsky	50	18	576	14
B1KOJE01	<u>Kojetín</u>	Olomoucky	49	17	203	14
B1KROM01	<u>Kroměříž</u>	Zlinsky	49	17	233	14
O3ROZN01	<u>Rožnov pod Radhoštěm</u>	Zlinsky	49	18	380	14
C2VBRO01	<u>Vyšší Brod</u>	Jihocesky	49	14	559	14
C1VIMP01	<u>Vimperk</u>	Jihocesky	49	14	628	13
O3HOLI01	<u>Horní Lideč</u>	Zlinsky	49	18	453	13
C2PRID01	<u>Přídolí</u>	Jihocesky	49	14	653	13
C2ROZS01	<u>Rožmitál na Šumavě</u>	Jihocesky	49	14	642	13
O3HRAN01	<u>Hranice na Moravě</u>	Olomoucky	50	18	244	13
B2MIKU01	<u>Mikulov</u>	Jihomoravsky	49	17	270	13

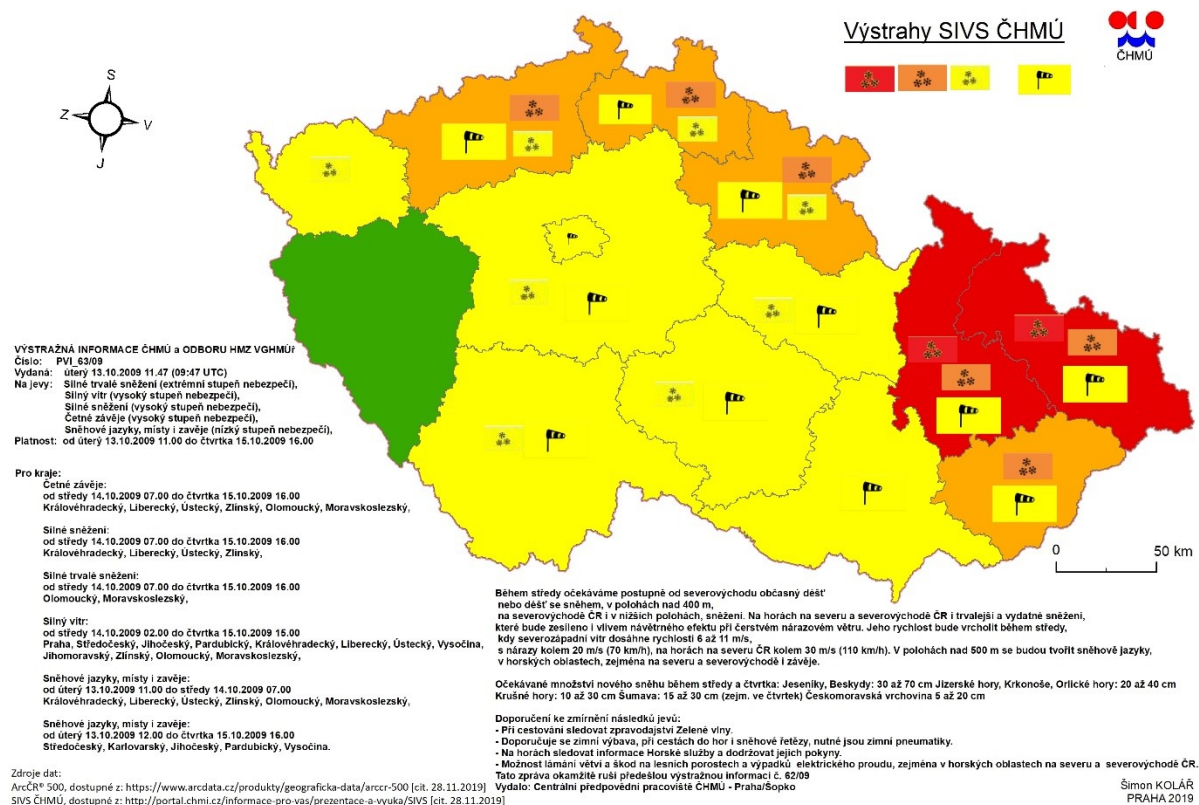
Příloha 9: Maximální výšky nového sněhu na stanicích ČHMÚ za 23. 2. 2013. Zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování.

ID	Stanice	Kraj	Latitude	Longitude	Elevation	SNO_23_02
P3NRUD01	<u>Nedrahovice</u>	Stredocesky	50	14	348	28
O1RYMH01	<u>Rýmařov</u>	Moravskoslezsky	50	17	637	26
P2KATU01	<u>Katusice</u>	Stredocesky	50	15	312	25
U2DECT01	<u>Děčín</u>	Ustecky	51	14	150	24
H1RYCH01	<u>Žadčín-Rýchorská bouda</u>	Kralovehradecky	51	16	1001	22
O1SVET01	<u>Světlá Hora</u>	Moravskoslezsky	50	17	593	22
H1PECS01	<u>Pec pod Sněžkou</u>	Kralovehradecky	51	16	816	22
P1KRAL01	<u>Kralupy nad Vltavou</u>	Stredocesky	50	14	220	22
L3SEMN01	<u>Šemnice</u>	Karlovarsky	50	13	367	22
P3VOJK01	<u>Vojkov</u>	Stredocesky	50	15	463	22
B2HOLS01	<u>Holštejn</u>	Jihomoravsky	49	17	455	21
O1VIDL01	<u>Vrbno pod Pradědem-Vidly</u>	Moravskoslezsky	50	17	774	20
U2LIBC01	<u>Liberec</u>	Liberecky	51	15	398	20
U1NOVE01	<u>Nová Ves v Horách</u>	Ustecky	51	13	725	20
B2SLOU01	<u>Sloup</u>	Jihomoravsky	49	17	470	20
L2KONL01	<u>Konstantinovy Lázně</u>	Plzensky	50	13	530	20
P1PCHO01	<u>Praha-Chodov</u>	Praha	50	15	297	20
L2TERE01	<u>Terešov</u>	Plzensky	50	14	402	20
H1HMAR01	<u>Horní Maršov</u>	Kralovehradecky	51	16	565	19
B1PROT01	<u>Protivanov</u>	Olomoucky	49	17	675	19
P1KOLE01	<u>Koleč</u>	Stredocesky	50	14	240	19
P1LANY01	<u>Lány</u>	Stredocesky	50	14	415	19
P1UNHO01	<u>Unhošť</u>	Stredocesky	50	14	389	19

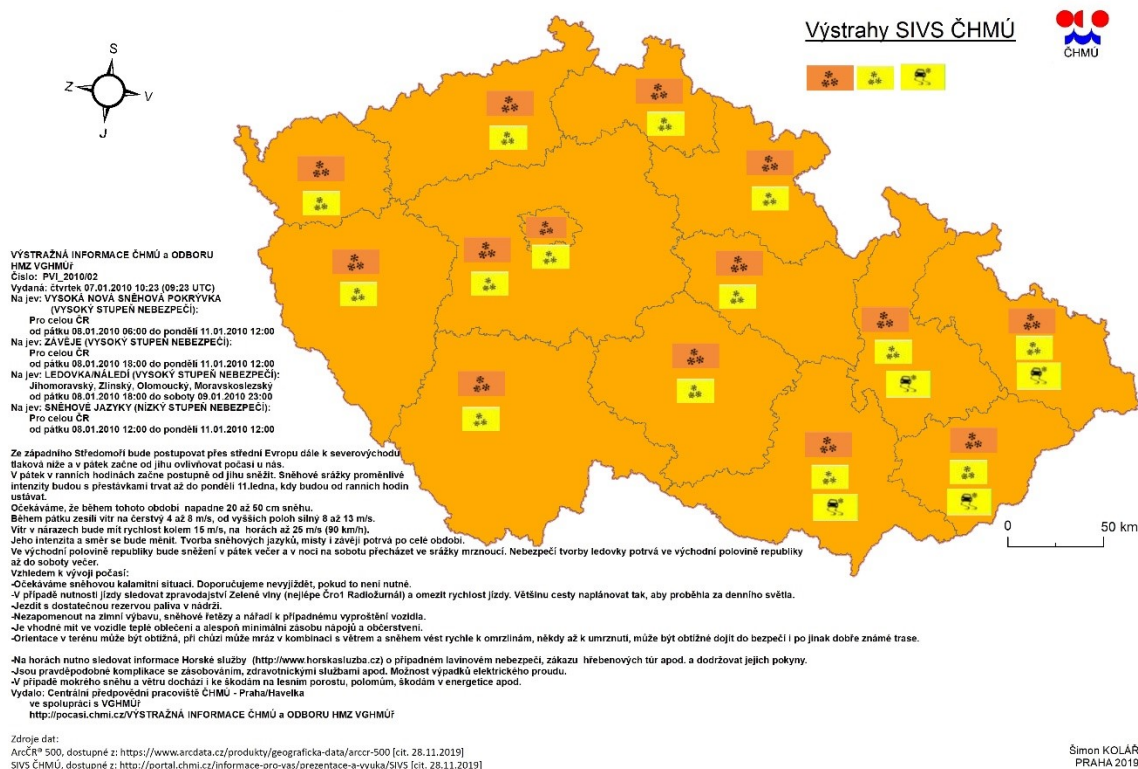
Příloha 10: Maximální výšky nového sněhu na stanicích ČHMÚ za 24. 2. 2013. Zdroj dat: ČHMÚ, vlastní zpracování

ID	Stanice	Kraj	Latitude	Longitude	Elevation	SNO_24_02
C1PRAS01	Prášíly	Plzeňský	49	13	883	14
L1NYRS01	Nýrsko	Plzeňský	49	13	451	10
L1BORO01	Borovno	Plzeňský	50	14	651	9
C1HKVI01	Horská Kvilda	Plzeňský	49	14	1052	8
L2DARM01	Staré Sedlo	Plzeňský	50	13	444	8
C1ZAMY01	Hlavňovice-Zámyšl	Plzeňský	49	13	800	8
C1FILH01	Modrava-Filipova Hut'	Plzeňský	49	14	1110	8
C2ROZS01	Rožmitál na Šumavě	Jihočeský	49	14	642	8
C2RUDJ01	Rudolfov	Jihočeský	49	15	562	8
C1SRNI01	Srní	Plzeňský	49	13	857	8
C2LEDE01	Ledenice	Jihočeský	49	15	485	8
L1SPIC01	Železná Ruda-Špičák	Plzeňský	49	13	945	8
L1VSER01	Všeruby	Plzeňský	49	13	445	8
L2NEMA01	Nemanice	Plzeňský	49	13	529	8
L1ZRUD01	Železná Ruda	Plzeňský	49	13	754	8

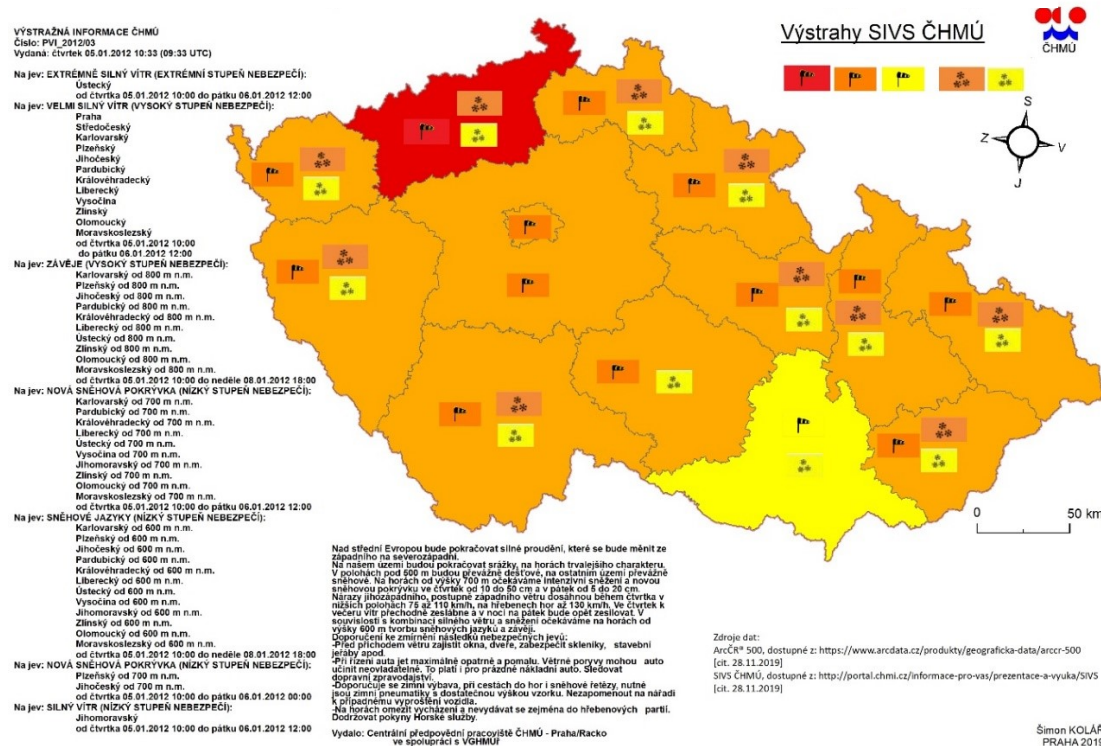
Příloha 11: Vydané výstražné informace SIVS ČHMÚ při události sněžení 13. 10. – 14. 10. 2009:



Priloha 12: Vydané výstražné informace SIVS ČHMÚ při události sněžení 8. 1. – 10. 1. 2010:



Priloha 13: Vydané výstražné informace SIVS ČHMÚ při události sněžení 5. 1. – 6. 1. 2012:



Příloha 14: Vydané výstražné informace SIVS ČHMÚ při události sněžení 22. 2. – 24. 2. 2013:

VÝSTRAŽNÁ INFORMACE ČHMÚ
Číslo: PVI_2013/18
Vydána: pátek 22.02.2013 10:20 (09:20 UTC)

Na jev: SNĚHOVÉ JAZYKY
(NÍZKÝ STUPĚŇ NEBEZPEČÍ):

Jihomoravský

Zlínský

Olomoucký

Moravskoslezský

od pátku 22.02.2013 12:00 do

soboty 23.02.2013 08:00

Na jev: NOVÁ SNĚHOVÁ POKRÝVKA
(NÍZKÝ STUPĚŇ NEBEZPEČÍ):

Praha

Středočeský

Jihočeský

Pardubický

Královéhradecký

Liberecký

Ústecký

Vysočina

Jihomoravský

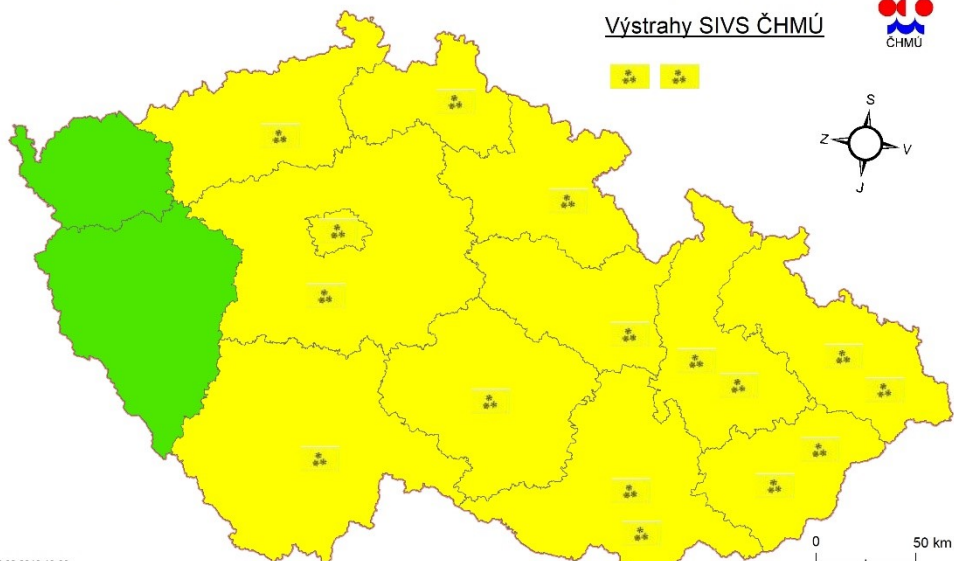
Zlínský

Olomoucký

Moravskoslezský

od soboty 23.02.2013 01:00 do neděle 24.02.2013 10:00

Výstrahy SIVS ČHMÚ



Počasi u nás bude ovlivňovat tlaková níže nad centrálním Středomořím. Na frontálním rozhraní spojeném s tlakovou níží nad Středomořím očekáváme během pátku 1 až 8 cm nového sněhu a na Moravě a ve Slezsku se postupně budou místy tvořit sněhové jazyky, na horách i závěje. Během soboty očekáváme novou sněhovou pokrývku od 5 do 15 cm, zejména na Moravě ojediněle kolem 20 cm nového sněhu. Během neděle budou srážky od východu přecházet ve smíšené nebo deštové, zejména v Čechách nová sněhová pokrývka 1 až 7 cm. K večeru ojediněle tvorba náledí. Při mokřem sněhu hrozí nebezpečí polomů.

Doporučení ke zmírnění následků jevů:

-Při cestování sledovat dopravní zpravodajství.

-Doporučuje se zimní výbava, při cestách do hor i sněhové řetězy,

nutné jsou zimní pneumatiky.

-Na horách sledovat informace Horské služby

(<http://www.horskasluzba.cz>) a dodržovat jejich pokyny.

-V případě mokrého sněhu dochází i ke škodám na lesním porostu a polomům.

Vydalo: Centrální předpovědní pracoviště ČHMÚ - Praha/Miloslav Dvořák

ve spolupráci s VCHMÚJ <http://pocasi.chmi.cz>

Zdroje dat:

ArcCR® 500, dostupné z: <https://www.arcddata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-500>

[cit. 28.11.2019]

SIVS ČHMÚ, dostupné z: <http://portal.chmi.cz/informace-pro-vas/prezentace-a-vyuka/SIVS>

[cit. 28.11.2019]

Šimon KOLÁŘ
PRAHA 2019